

Ilkka Juusola

VILJAKAS-VILJAKUIIVURIN AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN PÄI- VITTÄMINEN

VILJAKAS-VILJAKUIVURIN AUTOMAATIOJÄRJESTELMÄN PÄIVITTÄMINEN

Ilkka Juusola
Opinnäytetyö
Syksy 2016
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Tekijä(t): Ilkka Juusola

Opinnäytetyön nimi: Viljakas-viljakuivurin automaatiojärjestelmän päivittäminen

Työn ohjaaja(t): Jani Lehto (Siikalatvan laitehuolto) ja Tero Hietanen (OAMK)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2016

Sivumäärä: 49 + 1

liite

Opinnäytetyön aiheena on Viljakas-viljakuivurin automaatiojärjestelmän päivittäminen. Aihe sisältää uusien ratkaisujen mietinnän erityisesti kuivurin tuloilmapuhaltimen ohjaukseen ja kuivurin turvallisuuden parantamisen. Työn lähtötilanteena toimi vanha automaatiojärjestelmä vikoineen ja puutteineen. Työn tärkeimpänä tavoitteena oli laatia käyttäjävaatimukset uudelle automaatiojärjestelmälle.

Työ tehtiin perehtymällä ensiksi kuivurin toimintaan, rakenteisiin, automaatiokeskukseen ja automaatiojärjestelmään. Järjestelmästä ei ollut saatavilla muuta dokumentointia kuin logikalta saatu ohjelma. Ohjelma ei sisältänyt ainutakaan kommenttia. Ohjelman toimintaan perehtymisen myötä alettiin suunnitella uutta ohjelmaa, joka korjaa havaitut puutteet ja virheet. Uuden ohjelman suunnittelussa apuna käytettiin internetistä löytyvää tietoa sekä kuivurin suunnittelijan toiveita.

Opinnäytetyön tuloksena syntyi kuivurin uudelle automaatiojärjestelmälle käyttäjävaatimukset. Opinnäytetyössä esitellään myös uusia ratkaisuja Viljakas-viljakuivurin muihin toimintoihin, jotka toteutetaan mahdollisesti myöhemmin. Ratkaisuja voidaan hyödyntää myös muissa kuivausprosesseissa.

Asiasanat: automaatiojärjestelmät, tuloilmapuhaltimet, Viljakas, viljakuivurit

ALKULAUSE

Kiitokset Siikalatvan laitehuollolle ja erityisesti Jani Lehdolle opinnäytetyön aiheen tarjoamisesta. Kiitokset myös Viljakas-viljakuivurin kehittäjälle Jorma Marttilalle opastuksesta kuivurin toimintaan. Kiitokset työn ohjanneelle opettaja Tero Hietaselle säätöratkaisujen ideointiavusta.

Oulussa 25.8.2016

Ilkka Juusola

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 VILJAN KUIVAUS	8
2.1 Viljan kuivausprosessi	8
2.2 Perinteinen kylmäilmalavakuivuri	8
3 VILJAKAS-VILJAKUIVURI	10
3.1 Viljakas-viljakuivurin toiminta	10
3.2 Kuivurin nykyinen automaatiojärjestelmä	11
3.2.1 Ohjelman toiminta	14
3.2.2 Nykyisen järjestelmän puutteet ja viat	17
3.3 Uuden ohjelman toimintavaatimukset	18
3.3.1 Konedirektiivi	18
3.3.2 Kuivurin suunnittelijan haluamat ominaisuudet	20
4 UUDEN OHJELMAN TOIMINTAKUVAUKSET	21
4.1 Täyttö	21
4.2 Kuivaus	21
4.2.1 Käynnistysvaihe	22
4.2.2 Kuivausvaihe	22
4.2.3 Pysäytysvaihe	23
4.3 Purku	24
4.4 Käsikäyttö	25
4.5 Eri toimintojen hyvät ja huonot puolet	25
4.6 Kuivurin toiminta erilaisissa häiriötilanteissa	26
4.6.1 Moottoririkot	26
4.6.2 Antureiden rikkoutuminen	27
4.6.3 Muut häiriöt	28
5 TULOILMAPUHALTIMEN OHJAAMINEN	29
5.1 Tuloilmapuhaltimen jatkuva ohjaaminen	29
5.2 Tuloilmapuhaltimen ohjaaminen lämpötilaerolla	30

5.2.1 Ohjauksen käyttäytyminen erilaisissa tilanteissa	31
5.2.2 Viljan kosteuden määrittäminen	32
5.2.3 Säädön hyvät ja huonot puolet	33
5.3 Puhaltimen ohjaaminen poistoilman suhteellisen kosteuden avulla	33
5.3.1 Ohjauksen toiminta ja viljan kosteuden määrittäminen	34
5.3.2 Säädön hyvät ja huonot puolet	35
5.4 Tuloilmapuhaltimen ohjaaminen kahdella vakioarvolla	35
5.4.1 Ohjauksen toiminta	35
5.4.2 Säädön hyvät ja huonot puolet	36
5.5 Puhaltimen ohjauksen säätöteoria	36
5.5.1 P-, PI- ja PID-säätö	37
5.5.2 Kaskadisäätö ja säädön hyödyntäminen viljakuivurin ohjauksessa	38
5.5.3 Säädön parametointi	40
5.6 Puhaltimen pyörimisnopeuden maksimi- ja minimiarvojen määrittäminen	41
6 KUIVURIN TOIMINTOJEN KEHITTÄMINEN JA KÄYTTÖÖNOTTO	45
6.1 Viljankosteusmittarin hyödyntäminen kuivauksessa	45
6.2 Kuivurin etäkäyttö mobiilisovelluksen avulla	46
6.3 Tuuli- ja aurinkosähkön hyödyntäminen	46
6.4 Kuivurin käyttöönotto	47
7 POHDINTA	48
LÄHTEET	49
Liite 1 Viljakas-viljakuivurin käyttäjävaatimukset (Ei julkinen)	50

1 JOHDANTO

Opinnäytetyönä suunniteltiin Viljakas-viljakuivurille uusi automaatiojärjestelmä sekä haettiin uusia ideoita tuloilmapuhaltimen ohjaukseen. Työn lähtökohtana oli nykyinen automaatiojärjestelmä ja siinä havaitut puutteet.

Alkuperäisenä opinnäytetyösuunnitelmana oli tutustua vanhaan automaatiojärjestelmään ja sen pohjalta toteuttaa uusi automaatiojärjestelmä. Työn edetessä huomattiin, ettei nykyisen järjestelmän tuloilmapuhaltimen ohjaus toimi ollenkaan. Havainnon myötä opinnäytetyötä muutettiin. Lopullisena opinnäytetyönä suunniteltiin uusia ideoita tuloilmapuhaltimen ohjaukseen ja koko automaatiojärjestelmään. Lopputuloksena syntyivät kuvaukset nykyisen järjestelmän toiminnasta, vaihtoehdot uuden järjestelmän toteuttamiseen sekä käyttäjävaatimukset. Käyttäjävaatimuksissa selviävät valitut ratkaisut uuden automaatiojärjestelmän toteuttamiseen. Käyttäjävaatimukset eivät ole julkisia työn tilaajan pyynnöstä.

Haasteena työssä oli nykyisen järjestelmän vähäinen dokumentointi. Ainoa saatavilla ollut dokumentti oli logiikalla oleva ohjelma. Ohjelmassa ei ollut ainuttakaan kommenttia. Myöskään tuloja ja lähtöjä ei ollut nimettynä ohjelmaan tai kuivurin automaatiokeskukseen. Toisena suurena haasteena oli tuloilmapuhaltimen säädön ratkaiseminen. Haasteet ohjauksessa liittyivät lämpötilan ja kosteuden vaihteluun tuloilmassa sekä viljan vaihtelevaan määrään kuivurissa.

Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa nykyisen järjestelmän turvallisuutta, toimintaa erilaisissa tilanteissa, tuoda uusia ideoita tuloilmapuhaltimen säätämiseen sekä laatia käyttäjävaatimukset kuivurin automaatiojärjestelmälle.

2 VILJAN KUIVAUS

Viljan kuivaus viljakuivurilla on yksi tapa lisätä viljan säilyvyyttä. Viljakuivureita on erilaisia. Tässä työssä keskitytään Viljakas-viljakuivuriin, jonka toiminta perustuu kylmäilmalavakuivuriin.

2.1 Viljan kuivausprosessi

Viljan kuivauksessa viljasta poistetaan ylimääräinen kosteus. Haluttu viljan lopukosteus on 14–20 %. Viljan kosteus muodostuu jyvän pintakosteudesta ja jyvän sisäisestä kosteudesta. Pintakosteus poistetaan ensin, jolloin kuivuminen on nopeaa. Sisäisen kosteuden poistaminen on hitaampi prosessi ja se vaatii enemmän kuivausenergiaa. (1.)

Liian kostea vilja on loistava kasvualusta erilaisille mikrobeille ja bakteereille. Kuivaamalla ja riittävän alhaisella säilytyslämpötilalla estetään sopivien olosuhteiden muodostuminen niille. Taulukosta 1 nähdään, kuinka nopeasti viljan pilaantumista alkaa tapahtua ilman viljan kuivausta. (1.)

TAULUKKO 1. Viljan säilyvyys ja kuivauksen aloittaminen (2, s. 5)

<u>Kosteus %</u>	<u>Pilaantumisen alkaa</u>	<u>Teknisten ominaisuuksien muuttuminen alkaa</u>	<u>Kuivaus aloitettava</u>
yli 30	1 vrk	1 – 2 vrk	12 h kuluessa
20 – 30	3 – 5 vrk	2 – 3 vrk	25 % 24 h kuluessa 20 % 48 h kuluessa

2.2 Perinteinen kylmäilmalavakuivuri

Perinteinen kylmäilmalavakuivuri kuivaa viljaa ulkoilmalla. Ulkoilma puhalletaan viljapatjan läpi. Viljaa täytyy käsin sekoittaa kuivurissa, jotta kuivuminen olisi ta-

saista eikä tapahtuisi kuorettumista. Kuorettumisen aiheuttaa liian hidas kuivumisen eteneminen. Kuorettuminen tapahtuu veden, roskien tai viljan muodostuksessa kovan ilmaa läpäisemättömän kerroksen viljapatjan pintaan. (1.)

Kuivumisprosessi etenee kuivumiskerroksittain viljapatjassa. Kerrokset etenevät alhaalta ylöspäin. Kuivumiskerroksen yläpuolella ei enää tapahdu kuivumista, koska kuivumiseen käytetty ilma on tällöin saavuttanut tasapainokosteutta vastaavan vesipitoisuuden. Sen jälkeen ilma ei enää kuivaa viljaa. Kuivumisnopeus pysyy lähes vakiona, kunnes kuivumiskerros saavuttaa viljan yläosankin. Tämän jälkeen kuivumisnopeus hidastuu. (1.)

Viljan annetaan olla kuivurissa niin kauan, että saavutetaan haluttu viljan loppukosteus. Ilman lisälämpöä ei kylmäilmakuivurissa saavuteta alle 16 %:n kosteutta. Kylmäilmalavakuivurissakin voidaan kuivauksen loppuvaiheessa lämmittää kuivauksen käytettävää ilmaa. Karkeasti sanottuna tuloilman lämmittäminen yhden asteen verran pienentää tuloilman suhteellista kosteutta 5 %. Lämmittämisen avulla päästään pienempään viljan loppukosteuteen. (2, s. 37.)

Perinteisessä kylmäilmalavakuivurissa ulkoilman lämpötilalla ja suhteellisella kosteudella on suuri merkitys, koska kuivaukseen käytettävää ilmaa ei lämmitetä ennen kuivuria. Viljan kuivattaminen tapahtuu suoraan ulkoilmalla. Kun halutaan päästä alle 16 %:n viljan kosteuteen, täytyy ulkoilman kosteus olla alle 65 %. Viljan kuivattaminen tapahtuu syksyllä elo–lokakuussa. Tuohon aikaan kuivaukseen soveltuva ilma on yleensä 6–8 tuntia vuorokaudessa. (1.)

Kylmäilmalavakuivurilla kuivattaessa ei viljalle aiheudu suurista lämpötiloista johtuvia viljan ominaisuuksien heikkenemisiä. Tällaisia ominaisuuksia ovat mm. viljan itävyys, leivontaominaisuudet sekä mallastuminen. Kylmäilmalavakuivurissa viljan lämpötila ei nouse 40 asteeseen. Yli 40 asteen lämpötiloissa viljan ominaisuuksiin voisi alkaa tulla muutoksia, jotka vaikuttaisivat viljan loppukäyttöön. (1, s. 41.)

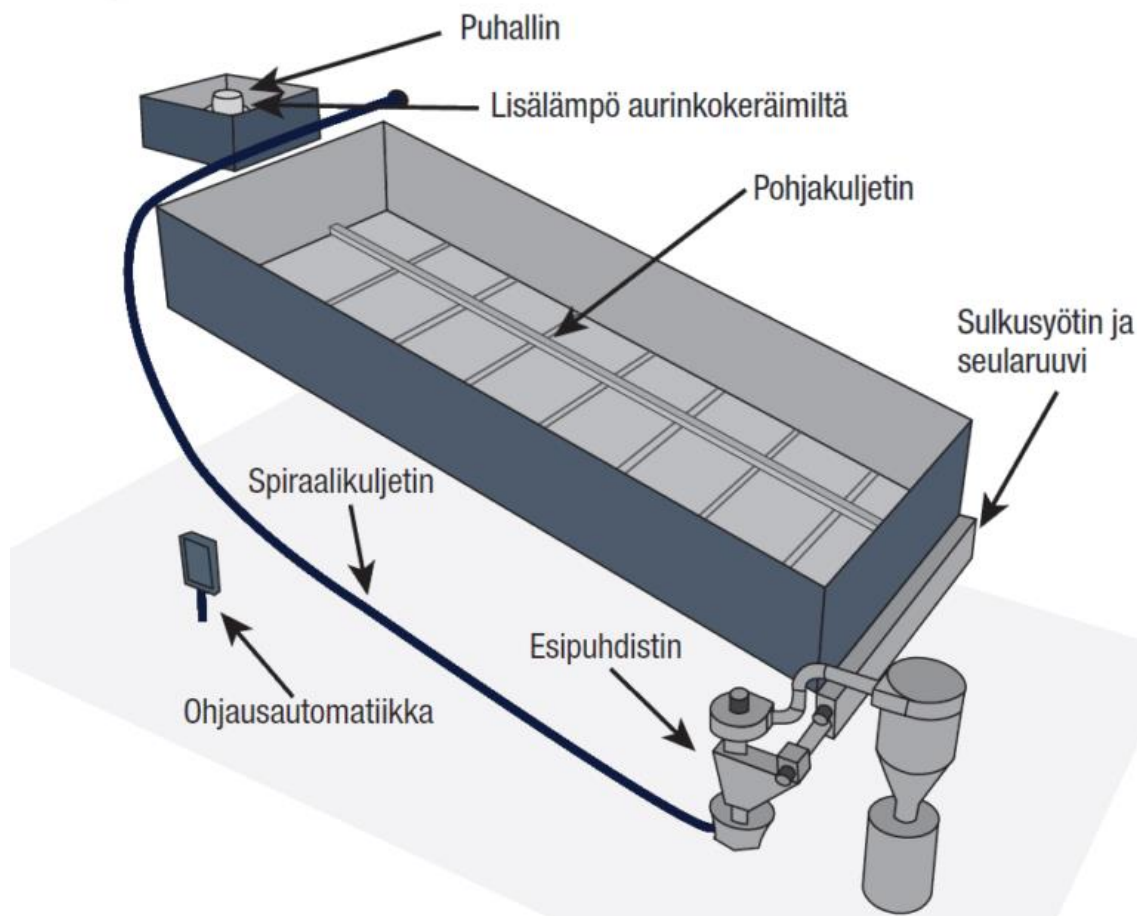
3 VILJAKAS-VILJAKUIVURI

Viljakas-viljakuivuri on perinteisestä kylmäilmalavakuivurista jatkokehitetty versio. Kuivauksessa hyödynnetään auringon tuottamaa lämpöä sekä pitkälle viedyä automaatiota. Tässä luvussa kerrotaan kuivurin toiminta, nykyinen automaatiojärjestelmän toiminta ja puutteet sekä uuden automaatiojärjestelmän haluttuja toimintoja.

3.1 Viljakas-viljakuivurin toiminta

Kuvassa 1 näkyy kuivurin rakenne ja kuivurin komponentit. Kuivuri täytetään spiraalikuljettimella tai suoraan kuivuriin viljaa kippaamalla. Spiraalikuljetin vie viljan kuivurin yläosaan. Pohjakuljetin kuljettaa viljan kuivurin alaosaan. Pohjakuljetin sekoittaa ja tasoittaa viljakerroksen. Alaosassa vilja menee sulkusyöttimen kautta seularuuville. Seularuuvi vie viljan esipuhdistajan laatikkoon. Laatikosta spiraalikuljetin vie viljan takaisin kuivurin yläosaan. Viljan kierrätys tapahtuu koko kuivausprosessin ajan. Kierrättämällä viljaa saadaan kuivumisesta tasisempaa ja samalla voidaan myös jatkuvasti puhdistaa viljaa.

Viljakas-viljakuivurissa tuloilma lämmitetään pääasiassa aurinkoenergian avulla. Kuivurirakennuksen katon rajassa ja mahdollisesti myös seinillä on ilmatila, josta tuloilma otetaan. Ilmatilassa aurinko lämmittää tuloilmaa muutamalla asteella, jolloin kuivaus tehostuu. Tuloilmaa on mahdollista lämmittää myös esimerkiksi lämpökeskuksen hukkalämmöllä, maalämmöllä, ulkoisella polttoainelämmittimellä tai muita lämmönlähteitä hyödyntämällä.



KUVA 1. Kuivurin havainnekuva (3)

3.2 Kuivurin nykyinen automaatiojärjestelmä

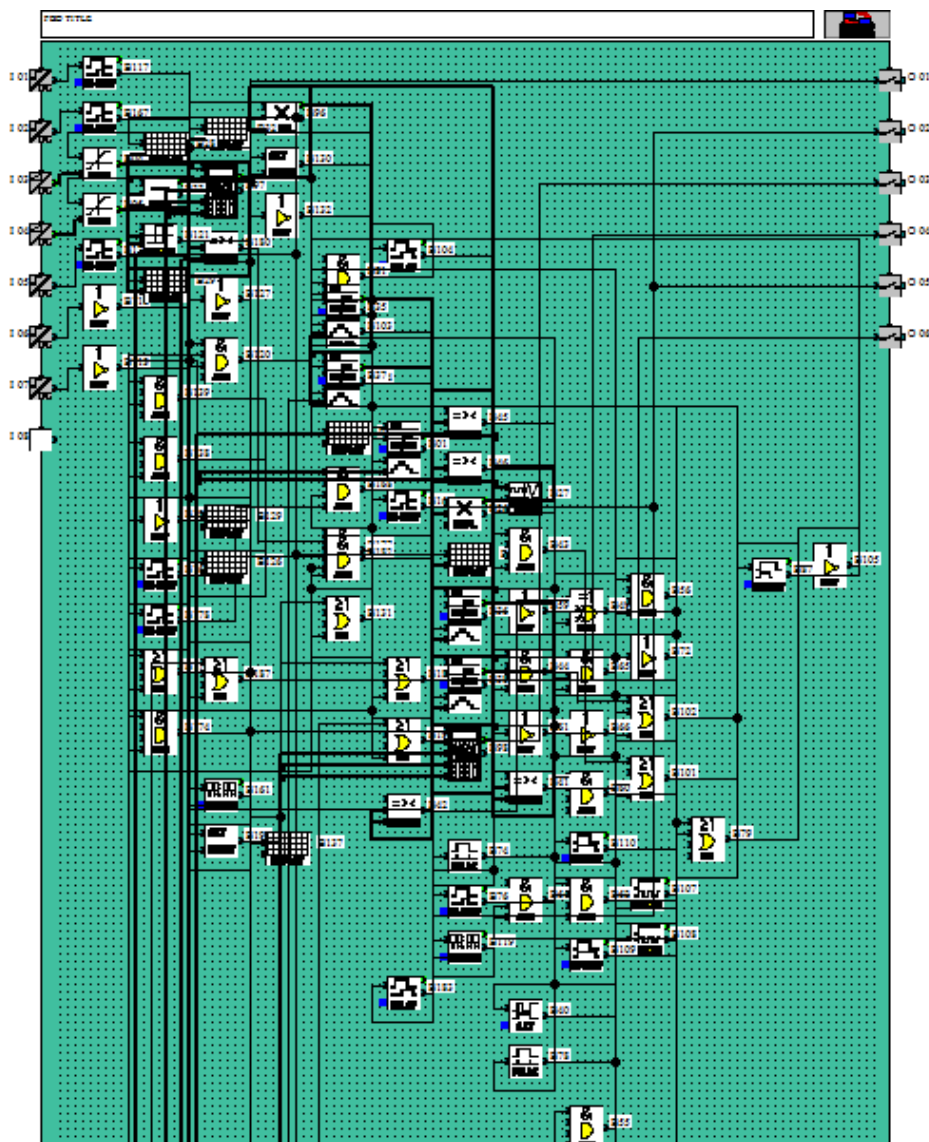
Kuivurin nykyisen automaatiojärjestelmän toimintaan perehtyminen aloitettiin käymällä katsomassa kuivuria. Paikan päällä perehdyttiin kuivurin toimintaan, antureihin ja automaatiokeskukseen. Kuivurin automaatiojärjestelmä on toteutettu Mitsubishin ALPHA 2XL -logiikalla. Kuivurissa käytetty logiikka näkyy kuvassa 2. Logiikka kuuluu Mitsubishin Alpha-sarjaan. Käytetyssä logiikassa on kahdeksan binäärituloa, joita voidaan käyttää myös analogiatuloina. Lähtöjen määrä on kuusi binäärilähtöä ja kaksi analogialähtöä. Logiikka toimii 24 voltin jännitteellä. Analogialähtöjä varten logiikkaan on liitetty AL2-2DA -analogialähtömoduuli. (4.)



KUVA 2. Mitsubishi Alpha 2 XL

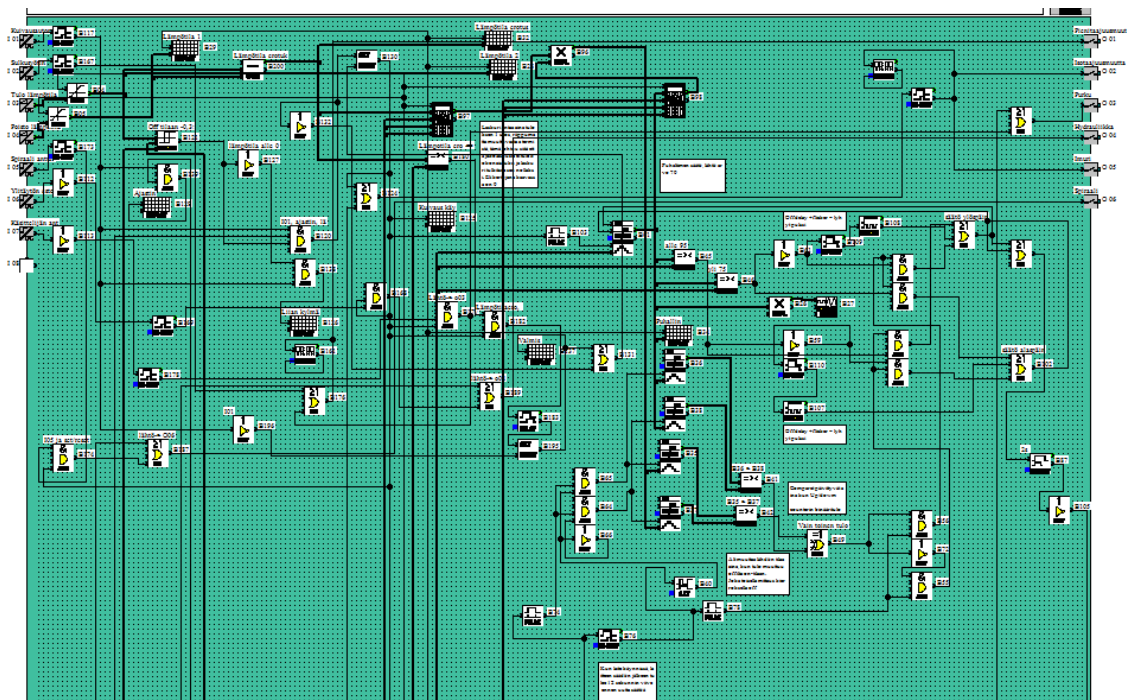
Vanha ohjelma saatiin talteen logiikasta eikä sitä ollut suojattu mitenkään. Kuvassa 3 näkyy suurin osa ohjelmasta siinä muodossa kuin se saatiin logiikasta talteen. Kun ohjelma saatiin logiikasta talteen, paljastui ettei ohjelmaan ole tehty mitään kommentointia. Ohjelmaan ei ollut nimetty edes lähtöjä ja tuloja. Ohjelma oli ainut dokumentti kuivurista.

Seuraavana vaiheena oli selvittää tulot ja lähdöt, jotta pystyi selvittämään ohjelman toiminnan tarkasti. Tulojen ja lähtöjen selvittäminen tehtiin kuivurin automaatiokeskuksesta mittailemalla sekä monitoroimalla ohjelmaa tietokoneen kautta. Automaatiokeskuksessa ei ollut nimettynä kuin moottoreita ohjaavat kontaktorit. Kaikki anturit selviteltiin monitoroinnin avulla. Tietokone kytkettiin logiikkaan kiinni, koneelta käynnistettiin Alpha programmer -ohjelma ja sieltä käynnistettiin monitorointi. Nyt antureiden toiminta saatiin selville peittämällä jokainen kapasitiivinen anturi kerrallaan. Koneelta nähtiin kyseistä anturia vastaava tulo. Kuivurissa oli kaksi lämpötila-anturia ja viisi kapasitiivista anturia.



KUVA 3. Alkuperäinen kuivuri sovellus Mitsubishi ALPHA 2 XL -logiikassa

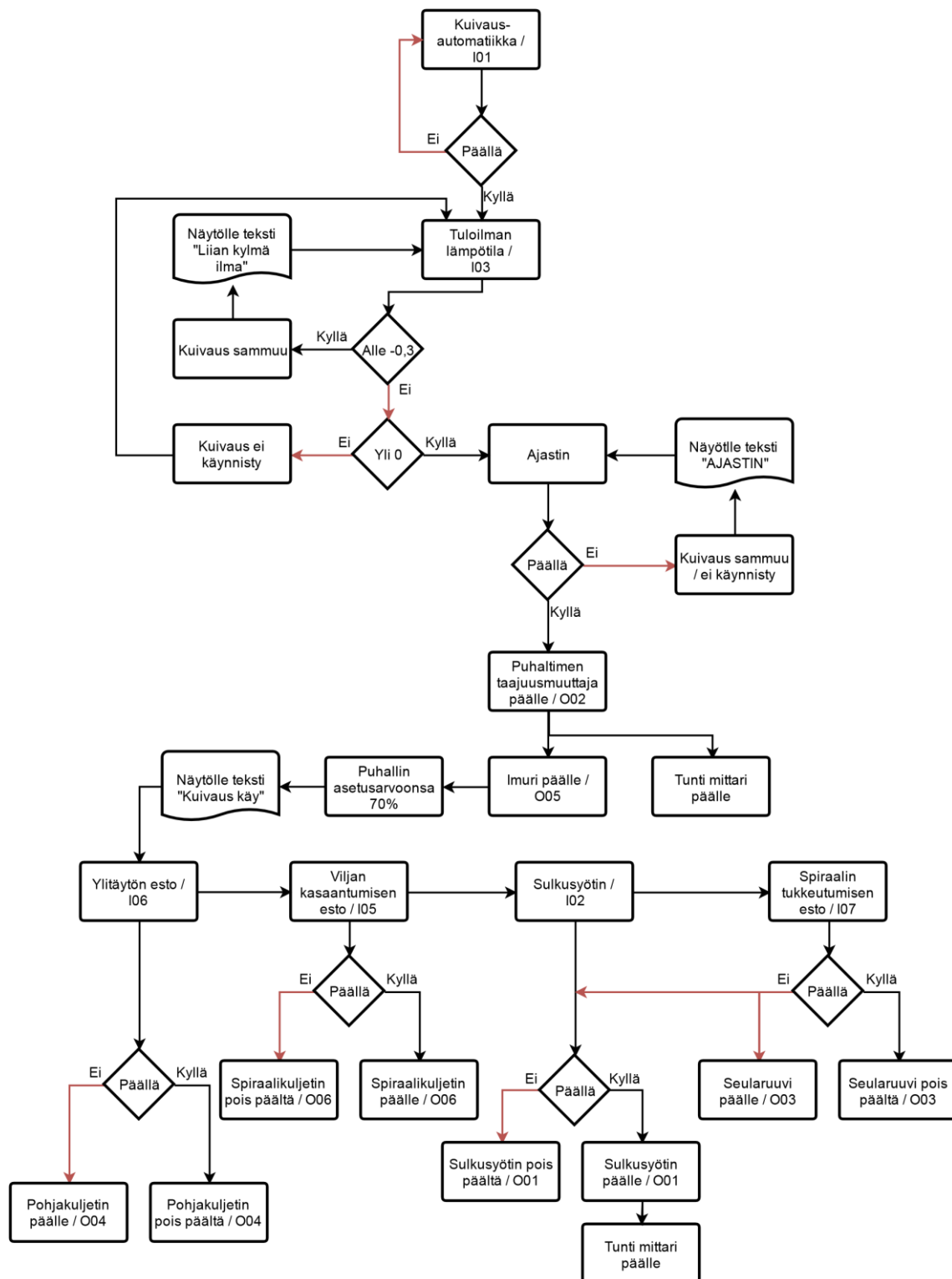
Tulojen ja lähtöjen selvittelyn jälkeen järjesteltiin ohjelma sellaiseksi, että siitä sai selvää ohjelman toiminnasta. Tähän vaiheeseen kului aikaa useampi päivä. Ilman järjestelyä ei olisi ollut mitään mahdollisuutta perehtyä tarkemmin ohjelman toimintaan. Kuvassa 4 näkyy osa ohjelmasta järjestelyn ja kommentointien lisäämisen jälkeen. Nyt ohjelman rakenne alkoi olla sellainen, josta pystyi tutki-
maan ohjelman toiminnan.



KUVA 4. Ohjelma järjestelyn ja kommenttien lisäämisen jälkeen

3.2.1 Ohjelman toiminta

Ohjelman toiminnasta piirrettiin kaksi kaaviokuvaa. Kuvassa 5 on ohjelman toiminnot pois lukien puhaltimen ohjaus, joka on kuvassa 6. Ohjelman käynnistymiseksi pitää toteutua kolme ehtoa: lämpötilan täytyy olla yli 0 astetta, ajastin ei saa olla päällä, eli kellon tulee olla 6:n ja 23:n välillä, ja kuivausautomaattikäytin täytyy olla automaattiasennossa. Kun nämä ehdot täyttyvät, voi kuivaus käynnistyä. Anturit ohjaavat toimintoja, kun edellä olevat ehdot ovat täyttyneet. Kaikki toiminnot käynnistyvät, jos anturit eivät estä käynnistymistä.

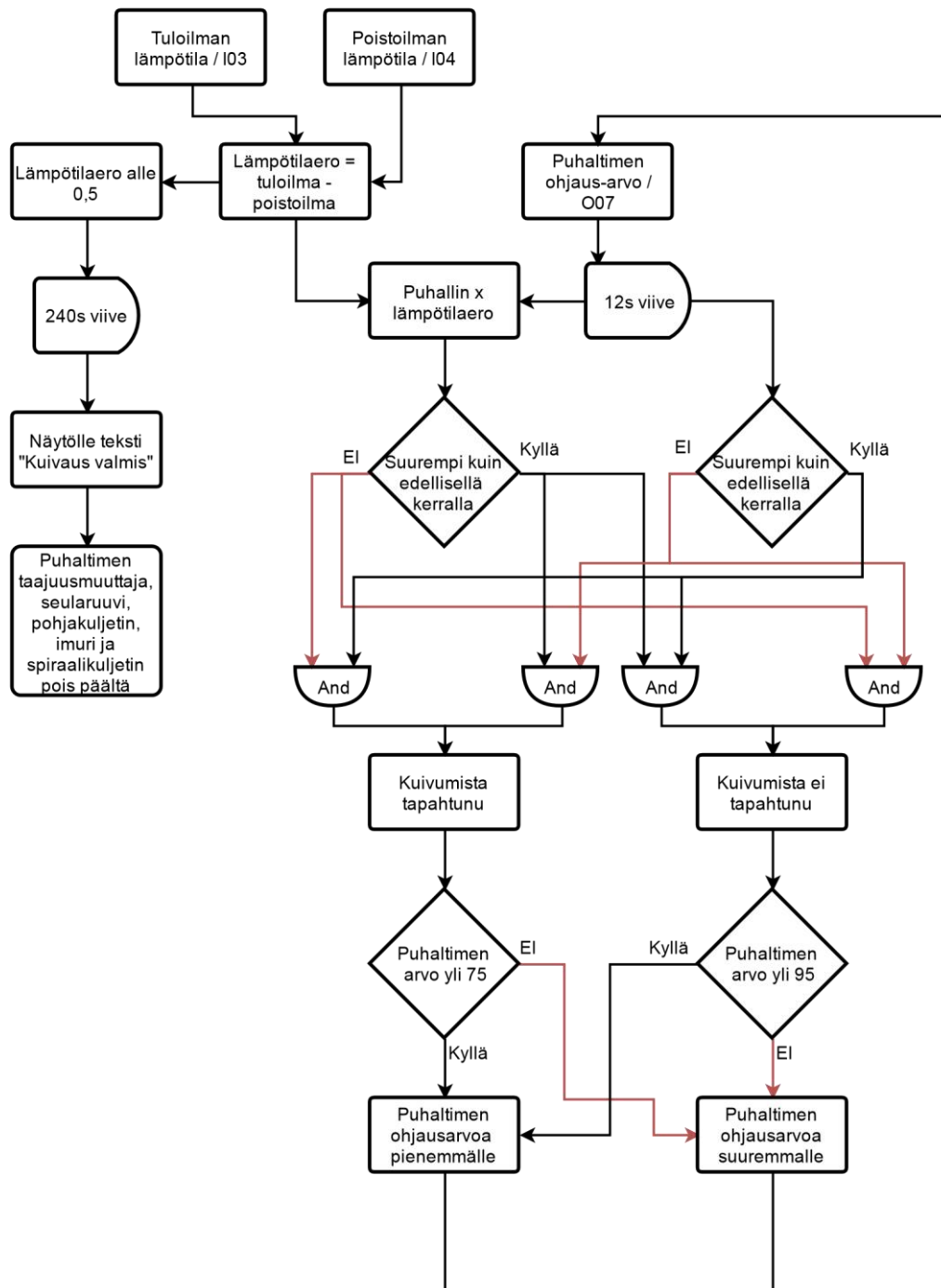


KUVA 5. Nykyisen automaatiojärjestelmän toiminta

Kuvassa 6 on nykyisen järjestelmän puhaltimen ohjauksen toiminta. Puhaltimen ohjaus perustuu tulo- ja poistoilman lämpötilaeroon ja puhaltimen pyörimisno-

peuteen edelliseen mittauskierrokseen nähden. Mittauskierrosten välillä on viivettä 12 sekuntia. Kun lämpötilaero pienenee edellisestä mittauskierroksesta, säätyy puhallin prosentoin pienemmällä. Jos lämpötilaero pienenee kaksi kierrosta peräkkäin, säätyykin puhallin isommalle. Lämpötilaeron muutokset johtuvat joko prosessissa tapahtuneesta kuivumisesta tai tuloilman lämpötilan muutoksista.

Kun lämpötilaero saavuttaa 0,5 astetta, viljan todetaan olevan kuivaa. Tässä kohtaa on 240 sekunnin viive. Jos lämpötila tämän aikana nouseekin 0,5 asteen yläpuolelle, jatketaan kuivausta normaalisti. Kun aika on kulunut loppuun, pysähtyy kuivaus.



KUVA 6. Puhaltimen ohjaus

3.2.2 Nykyisen järjestelmän puutteet ja viat

Nykyisen järjestelmän suurimmat puutteet ovat puhaltimen ohjauksessa. Puhaltimella ohjataan tuloilman määrää. Puhallinta ohjataan tulo- ja poistoilman lämpötilaeron perusteella. Lämpötilaeron pienentyessä ohjataan puhallinta pienemmälle. Jos ero pienenee kaksi kertaa peräkkäin, ohjaa järjestelmä puhallinta

suuremmalle. Toteutettu puhaltimen ohjaus on todella sekava ja vaikeasti ymmärrettävissä. Ohjauksen toteutus ei myöskään ole loogista. Ohjelma ohjaa melkein pä sattumanvaraisesti puhallinta. Myös ohjausten välillä käytetty 12 sekunnin viive on aivan liian pieni. Kyseessä on hidas prosessi, joten muutokset prosessissa näkyvät hitaasti. 12 sekunnin aikana ei ehditä nähdä mitä muutoksia tehty säätö aiheuttaa prosessissa. Viiveen tulisi olla paljon suurempi, esimerkiksi viisi minuuttia. Ongelmana on myös käytettyjen mittalaitteiden tarkkuus, joka ei ole prosessissa vaaditun 0,1 asteen mukainen.

Käytännössä puhallin ei ohjaa ikinä itseään pienemmälle. Tämä johtuu ohjaussovelluksessa käytetystä laskurilohkosta, joka saa aina arvokseen nolla. Tästä virheestä johtuen puhallin säätää itsensä maksimiarvoon ja pitää siellä. Voidaan todeta puhaltimen ohjauksen suunnittelun sekä sovelluksen toteutuksen olevan virheellistä.

Nykyisessä kuivurissa on myös käsikäyttö sulkusyöttimelle, spiraalille, seularuuville ja pohjakuljettimelle. Käsikäytöt on toteutettu kontaktorien kautta. Tästä aiheutuu sellainen ongelma, etteivät kuivurin anturit voi ohjata esimerkiksi pohjakuljetinta pois päältä viljan pakkautuessa liiaksi kuivurin alaosaan. Käsikäyttötöiminnot pitäisi viedä logiikan kautta, jotta anturit voisivat ohjata ne pois päältä, ennen kuin rakenteellisia vaurioita on vaarassa syntyä. Käsikäyttötoimintoja tarvitaan purku- ja täyttötilanteissa. Tässä opinnäytetyössä tullaan esittämään myös näille tilanteille automaattioratkaisut.

3.3 Uuden ohjelman toimintavaatimukset

Uuden ohjelman toimintavaatimukset muodostuvat kuivurin suunnittelijan haluamista ominaisuuksista ja konedirektiivin vaatimista toiminnoista. Näiden toimintavaatimusten perusteella suunnitellaan uuden ohjelman toimintakuvaukset.

3.3.1 Konedirektiivi

Konedirektiivi on EU:n antama säädös joka harmonisoi ensimmäistä kertaa markkinoille saatettavia tai käyttöön otettavia koneita koskevat säädökset. Konedirektiivi sisältää yleiset koneiden suunnittelussa käytettävät terveys- ja turvallisuusvaatimukset. Konedirektiivi 2006/42/EY on saatettu Suomessa voimaan

valtioneuvoston asetuksella koneiden turvallisuudesta 400/2008. Tätä konedirektiiviä on pitänyt soveltaa ja noudattaa 29.12.2009 alkaen. Vastuu vaatimusten noudattamisesta on itse koneen valmistajalla tai tämän valtuuttamalla edustajalla. (5.)

Konedirektiivissä on kohtia, jotka täytyy ottaa huomioon uutta ohjaussovellusta suunniteltaessa. Kuivurin valmistaja vastaa itse kuivurin toteutuksesta vaatimusten mukaisesti.

Uusi kuivuri tulee käynnistymään itsekseen ja yllättäen, kun tietyt ehdot täyttyvät. Konedirektiivin mukaan koneen käynnistyminen ei saa tapahtua yllättäen. Ennen kuivurin käynnistymistä annetaan tietyn pituinen äänimerkki. Myöskään koneen sisään ei saa jäädä jumiin, eikä kone saa käynnistyä, jos sisällä on ihminen. Tähän ratkaisuna on kuivurin kattaminen, niin ettei sisälle pääse kuin yhden luukun kautta. Kun luukku on auki, ei kuivuri voi käynnistyä. Avattaessa luukku kesken kuivauksen sammuvat kaikki kuivurin toiminnot. Myös näkyvillä olevat moottorit ja esipuhdistajan laatikko, josta spiraalikuljetin lähtee, suojataan erillisellä laatikolla. Tämän suojalaatikon avaaminen pysäyttää kuivurin ja estää kuivurin käynnistymisen. Tällainen on syytä rakentaa, jottei esimerkiksi spiraalikuljettimeen pääse laittamaan kättä spiraalin pyöriessä. Kun laatikko tai kuivurin kansi avataan ja suljetaan, täytyy kansi käydä kuittaamassa suljetuksi automaatiokeskukselta. Hätäseisäkytkimiä sijoitellaan riittävästi kuivuriin, jotta ne olisivat aina saatavilla. Hätäseisäkytkimet pysäyttävät prosessin viipymättä, sekä estävät energiansyötön laitteille. Hätäseisäkytkimelle tulee erillinen kuittauspainike, jottei kone pääse käynnistymään heti vapautettaessa hätäseisäkytkin. Automaatiojärjestelmä tai käsikäytöt eivät saa estää laitteiden pysäytystä tarvittaessa. Tästä johtuen käsiohjaukset siirretään toimimaan logiikan kautta, jolloin kuivurin turva-automaatio voi pysäyttää tarvittaessa kuivurin riippumatta ohjaustavasta. Käyttäjän on tiedettävä päällä olevat toiminnot. Kuivurin automaatiokeskuksen oveen voidaan asentaa toiminnan valolla kertovat käsiohjauspainikkeet. Painikkeet kertovat valolla toiminnon tilan sekä käsi- että automaatiohjausta käytettäessä. Esimerkiksi valo kertoisi pohjakuljettimen päällä olon. (6.)

3.3.2 Kuivurin suunnittelijan haluamat ominaisuudet

Kuivuriin halutaan kaikille toiminnoille erilliset käsiohjaukset. Käsiohjauksellakin ohjattaessa täytyy turva-automaation pysäyttää toiminta tarvittaessa. Tämä toteutetaan viemällä käsiohjaukset logiikan kautta. Kuivausautomaatiikan ollessa valittuna ei käsiohjaukset ole käytettävissä.

Kuivurin tuloilmapuhaltimen säädön tulee tapahtua kuivausprosessin etenemisen mukaan. Kuivattaville eri viljoille käytetään erilaisia tuloilmapuhaltimen maksimi- ja minimiarvoja, jottei vilja lähde kuplimaan. Tuloilmapuhaltimen täytyy säätää viljakerroksen paksuuden, kosteuden ja käytettävän viljalajin mukaan. Kun kuivumista ei tapahdu, pysäytetään kuivaus hetkeksi.

Kuivuri käynnistyy ulkoilman suhteellisen kosteuden ja ulkoilman lämpötilan ollessa asetusarvojen mukaiset. Asetusarvojen täytyy olla käyttäjän säädettävissä. Muilta osin kuivuri toimii kuten nykyinen versioikin.

4 UUDEN OHJELMAN TOIMINTAKUVAUKSET

Uudessa ohjelmassa on neljä toimintatilaa: täyttö-, kuivaus- ja purkuvaiheet sekä käsikäyttö mahdollisuus. Tässä ehdotetaan näille kaikille toiminnoille automatisoitua ratkaisua. Kaikille vaiheille on oma kytkin automaatiokeskuksessa. Vaihtoehtoisesti voi olla myös neljätoiminen kytkin, jossa yhdessä kytkimessä on täyttö, kuivaus, purku ja käsikäyttö. Kun jokin näistä toiminnoista on valittuna päälle, eivät muut toiminnot saa käynnistyä.

4.1 Täyttö

Täyttövaiheessa kuivuri täytetään viljalla esipuhdistajan laatikon kautta. Täyttövaihe voi käynnistyä, kun täyttövaiheen kytkin on käännetty päälle. Kuivaus- ja purkuvaihe eivät saa olla päällä. Esipuhdistajan laatikossa oleva anturi käynnistää spiraalikuljettimen ja imurin, kun havaitsee viljaa laatikossa. Laarin yläosan pohjalla oleva anturi käynnistää pohjakuljettimen havaitessaan viljaa. Laarin etuosassa olevat anturit pysäyttävät pohjakuljettimen viljan yltäessä antureihin asti. Laarin yläosassa olevat viljan kasautumista seuraavat anturit pysäyttävät spiraalikuljettimen ja imurin viljan kasautuessa laarin yläosaan.

Ilman antureiden lisäämistä nykyiseen järjestelmään käynnistäisi täyttövaiheen käynnistäminen spiraalin, imurin ja pohjakuljettimen. Laarin alaosassa oleva anturi pysäyttäisi pohjakuljettimen viljan kasaantuessa laarin alaosaan. Laarin yläosassa oleva anturi pysäyttäisi spiraalikuljettimen viljan kasaantuessa laarin yläosaan. Käyttäjän täytyisi olla selvillä täytön etenemisestä, ettei vilja tulisi spiraalin pysähtymisen jälkeen ylitse esipuhdistajan laatikosta. Toimintoja voitaisiin ohjata suoraan käsitoiminnoillakin. Näin ollen ei tarvitsisi erillistä täyttövaihetta. Käyttäjä laittaisi käsiohjaukselle prosessin ja käynnistäisi spiraalikuljettimen, imurin ja pohjakuljettimen. Toiminnot pysähtyisivät edellä kerrotulla tavalla antureiden ohjaamina.

4.2 Kuivaus

Kuivausvaihe koostuu käynnistys-, kuivaus-, ja pysäytysvaiheista.

4.2.1 Käynnistysvaihe

Käynnistysvaiheessa käynnistetään eri toimintojen moottorit. Käynnistysvaiheen toteuttamiseen on kaksi vaihtoehtoa: vaiheittainen käynnistys tai kaikki moottorit kerralla käynnistävä vaihtoehto. Käynnistykset tapahtuvat, kun edellytykset käynnistymiselle ovat olemassa. Näitä edellytyksiä ovat automaattisen kuivauksen valinta, ulkoilman lämpötila asetusarvon mukainen, ulkoilman suhteellinen kosteus asetusarvon mukainen sekä luukut suljettuna. Kun käynnistys tapahtuu vaiheittain, käynnistetään ensin pohjakuljetin, sulkusyötin ja seularuuvi. Seuraavana käynnistetään imuri ja spiraali. Viivettä käynnistysten välillä voisi olla 5–10 sekuntia. Tällainen käynnistys rasittaa sähköverkkoa vähemmän käynnistysvaiheessa. Myös turha päällä olo aika vähenee moottoreille.

Lisää tarkkuutta käynnistykseen voidaan tuoda antureilla. Anturit käynnistävät kuivurin, kun kuivauksen käynnistymisen ehdot täyttyvät. Viljalaarin alaosassa oleva anturi käynnistää sulkusyöttimen anturin havaitessa viljaa. Sulkusyöttimen käynnistyminen käynnistää seularuuvit. Esipuhdistajan imurin käynnistymistä voisi ohjata anturi, joka sijaitsee putkessa ennen imuria. Anturin havaitessa viljaa imuri käynnistyy. Esipuhdistajan laatikossa oleva anturi käynnistää spiraalikuljettimen, kun laatikkoon tulee viljaa. Antureihin perustuva moottoreiden ohjaus poistaisi turhat päällä olot kokonaan. Nämä anturit ohjaisivat toimintoja kuivausautomaatiikan ollessa päällä.

4.2.2 Kuivausvaihe

Kuivausvaihe tulee käynnistymisen jälkeen. Kuivausvaiheessa kaikki toiminnot ovat päällä. Vilja kiertää jatkuvasti kuivurissa. Kuivausvaiheessa tärkeintä on tuloilmapuhaltimen toiminta. Tuloilmapuhaltimen toimintaan esitetään työn myöhemmässä vaiheessa käytettävissä olevat eri vaihtoehdot. Kuivausvaiheessa kuivurissa olevat anturit ohjaavat toimintoja. Laarin alaosassa olevat anturit pysäyttävät pohjakuljettimen viljan kasaantuessa laarin alaosaan. Pohjakuljetin käynnistyy taas kasauman purkautuessa. Esipuhdistajan laatikossa oleva anturi pysäyttää seularuuvin ja sulkusyöttimen, kun laatikkoon on kasautunut liikaa viljaa. Kun laatikossa on taas tilaa, käynnistyvät sulkusyötin ja seularuuvi. Laarin

yläosassa oleva anturi pysäyttää spiraalin viljan kasaantuessa laarin yläosaan. Kasauman purkautuessa käynnistyy spiraali uudelleen.

Anturit ovat oletusarvoisesti päällä. Kun anturi havaitsee viljaa, se sammuu. Tällä tavalla asennettuna anturin rikkoutuminen huomataan heti. Anturin rikkoutuminen ei myöskään pääse aiheuttamaan vahinkoa. Erityisesti kuivurin alaosassa olevien antureiden on tärkeää olla toiminnassa. Jos viljaa pääsee pakautumaan liikaa kuivurin alaosaan, voivat rakenteet rikkoutua.

Käynnistysvaiheen yhteydessä kerrotut lisäanturit toimisivat myös kuivausvaiheessa. Ne ohjaisivat kuivuria tarkasti, eikä turhia moottoreiden päällä oloja tulisi kuivausvaiheessakaan.

Antureiden toiminnassa voidaan havaita päällekkäisyyksiä, jos niitä lisätään edellä kerrotun mukaisesti. Esimerkiksi esipuhdistajan laatikon pohjalla oleva anturi käynnistää spiraalin viljaa havaitessaan. Kuivurin yläosassa oleva anturi pysäyttää spiraalikuljettimen havaitessaan viljan kasaantumisen yläosaan. Näin ollen spiraalille voisi tulla samanaikaisesti käyntitieto päällä ja pois päältä. Tämä ratkaistaan asettamalla viljan kasaantumista seuraava anturi ensisijaiseksi ohjaukseksi esipuhdistajan laatikossa olevaan anturiin nähden. Näin ollen spiraali sammuisi, vaikka esipuhdistajan laatikossakin olisi viljaa. Näin toimittaisiin muidenkin turva-antureiden kanssa. Turva-antureina toimivat viljan kasaantumista laarin ylä- ja alaosassa seuraavat anturit sekä esipuhdistajan laatikossa viljan kasautumista seuraava anturi.

4.2.3 Pysäytysvaihe

Pysäytysvaiheelle on kaksi eri vaihtoehtoa. Pysäytys voidaan tehdä vaiheittain tai pysäyttämällä kaikki toiminnot kerralla. Pysäytys tapahtuu, kun viljan todetaan olevan kuivaa, olosuhteet muuttuvat eli ulkoilman lämpötila laskee alle asetusarvon, ulkoilman suhteellinen kosteus nousee yli asetusarvon tai todetaan, ettei kuivumista tapahdu. Pysäytyksen tapahtuessa vaiheittaisella pysäytyksellä kaikki vilja saadaan jäämään kuivuriin, ei spiraaliin tai esipuhdistajalle. Pysäytyksen tapahtuessa ensimmäisenä sammuu sulkusyötin. Sulkusyöttimen jälkeen sammuu seularuuvi. Seularuuvin sammuttaa ennen imuria oleva anturi,

kun sille ei tule enää viljaa. Seuraavaksi sammuu imuri, kun havaitaan, ettei esipuhdistajan laatikossa ole enää viljaa. Tässä imuri on hetken turhaan päällä. Spiraalin sammutus voidaan tehdä esipuhdistajan laatikossa olevan anturin mukaan. Kun anturi havaitsee viljan loppuneen laatikosta, sammuu spiraali tietyn ajan päästä. Toinen vaihtoehto spiraalin sammuttamiselle on laittaa anturi spiraaliputken loppuun, joka havaitsee, milloin ei tule enää viljaa ja sammuttaa anturin. Anturoinneilla saadaan pysäytysvaihe toteutettua niin, ettei viljaa jää mihinkään välille.

Anturit voidaan korvata aikaviiveillä. Tällöin viljaa voi jäädä erivaiheisiin pysäytyksen jälkeen. Aikaviiveellä toteutettuna ensin sammuisi sulkusyötin, hetken päästä seularuuvi, ruuvien sammumisen jälkeen imuri, imurin sammumisen jälkeen spiraali. Sopivia aikoja eri toimintojen viiveeksi voitaisiin hakea testaamalla niitä kuivurissa.

Toisena vaihtoehtona on pysäyttää kaikki toiminnot kerralla. Tällöin viljaa jää spiraaliin, seularuuviin, putkistoihin ja esipuhdistajan laatikkoon.

Pysäytyksessäkin täytyy ottaa huomioon turvallisuus. Kun avataan kuivurin luukku tai moottoreiden suojana oleva luukku, sammuvat toiminnot ohjaavat moottorit välittömästi.

4.3 Purku

Purku voi käynnistyä, kun purkukytin on päällä eikä täyttö tai kuivaus ole päällä. Purku tapahtuu spiraalikuljettimen kautta. Spiraalikuljettimeen laitetaan sivuhaara ja sen suulle on/off-venttiili. Venttiili aukeaa, kun purku laitetaan päälle. Venttiilin jälkeen tulee suppilo, jossa on kapasitiivinen anturi pinnan säätelyyn. Suppilon pohjassa on myös on/off-venttiili. Tätä venttiiliä ohjataan painikkeella automaatiokeskukselta tai venttiilin läheisyydestä. Venttiiliä voi sulkea ja aukaista vain, kun purku on päällä. Kun suppilossa oleva vilja saavuttaa kapasitiivisen anturin, sulkeutuu spiraalin yhteydessä oleva venttiili ja purku pysähtyy. Purku jatkuu taas pinnan laskeutumisessa. Pinnan laskeutumisen aiheuttaa suppilon alapuolisen venttiilin avaaminen.

Purkutilanteessa puhallin pyörii vakionopeudella. Pohjakuljetin, sulkusyötin, seularuuvi, imuri ja spiraali ovat päällä. Turva-automaatio voi ne sammuttaa viljan kasaantuessa kuivurin alaosaan tai esipuhdistajan laatikkoon. Näitä toimintoja ohjaa purkutilanteessa suppilossa oleva anturi. Viljan saavuttaessa anturin sammuvat kaikki toiminnot. Toiminnot käynnistyvät uudestaan, kun suppilossa on taas tilaa. Purku loppuu, kun pysäytysvaiheessa kerrotut anturit havaitsevat viljan loppuneen. Jos näitä antureita ei asenneta, voidaan purku lopettaa laittamalla anturi laarin pohjalle sulkusyöttimen lähelle. Anturin havaitessa viljan loppumisen sammuu purku vaiheittain valitun pysäytystavan mukaan. Näin purkutilanteessa ei jää viljaa kuivuriin.

Alempaa venttiiliä voitaisiin ohjata myös kapasitiivisella anturilla. Anturi laitettaisiin esimerkiksi säkkiin roikkumaan halutulle korkeudelle. Kun säkki täyttyy tähän korkeuteen, menee alempi venttiili kiinni. Näin ei tarvitsisi vahtia koko ajan purkutilannettakaan.

Tällaisesta järjestelmästä voidaan viljaa purkaa kärryyn tai säkkeihin tai liittää alapuolelle toinen spiraalikuljetin, jolla vilja viedään esimerkiksi navettaan tai lämminilmakuivurille.

4.4 Käsikäyttö

Käsitöillä moottoreita voidaan ohjata käsin. Käsitöitä viedään logiikan kautta, jolloin kuivausprosessia ohjaavat anturit voivat pysäyttää toiminnon. Käsitöitä ei ole mahdollista kuivausautomaatiikan ollessa päällä. Käsitöiden kytkimet ovat painonappeja, joiden valo kertoo toimintatilan. Valo kertoo toimintatilan myös kuivausautomaatiikalla ohjattaessa. Näistä valoista käyttäjä näkee kunkin toiminnon päällä olon.

4.5 Eri toimintojen hyvät ja huonot puolet

Kuivausvaiheen toiminta on antureiden ohjaamaa nykyisessäkin järjestelmässä. Sammutus- ja käynnistysvaiheiden antureilla ohjaamiseen pitäisi laittaa useampi anturi nykyiseen järjestelmään nähden lisää. Lisääntyvä antureiden määrä lisäisi kustannuksia ja huoltoa sekä toisi lisää mahdollisesti rikkoutuvia osia prosessiin. Hyvänä puolena tulisi täsmällisyyttä eri tilanteiden ohjaamiseen. Turhat

moottoreiden päällä olot jäisivät pois. Tämä vähentäisi myös energiankulutusta. Viljaa ei myöskään jäisi eri prosessin vaiheisiin seisomaan.

Nämä toiminnot voisivat olla myös kuivurin eri versioihin kuuluvia. Kuivurin tilaaja voisi valita haluaako täysin automatisoidut täyttö- ja purkuvaiheet ja pysäytys- ja käynnistysvaiheet.

4.6 Kuivurin toiminta erilaisissa häiriötilanteissa

Kuivurin toimintaan liittyvät häiriötilanteet ovat moottoreiden tai antureiden rikkoutumisia. Häiriötilanteet on mietitty nykyisen järjestelmän kannalta. Tilanteisiin ehdotetaan tarvittaessa korjauksia. Tässä kohdassa ei käsitellä tuloilmapuhaltimen toimintaan liittyviä ulkoilman muutoksista johtuvia häiriöitä.

4.6.1 Moottoririkot

Kun spiraalikuljettimen moottori rikkoutuu tai spiraali katkeaa, täyttyy esipuhdistajan laatikko. Laatikon täyttymisen myötä pysähtyy seularuuvi ja sulkusyötin. Kun sulkusyötin ja seularuuvi pysähtyvät, pysähtyy pohjakuljetin hetken päästä viljan kasautuessa laarin alaosaan.

Pohjakuljettimen rikkoutuessa kasautuu vilja laarin yläosaan. Yläosassa viljan kasautumista seuraavat anturit pysäyttävät spiraalikuljettimen. Spiraalikuljettimen pysähtyessä täyttyy esipuhdistajan laatikko ja pysäyttää seularuuvin ja sulkusyöttimen. Jos sulkusyöttimeltä tulevan viljan määrä ei riitä esipuhdistajan täyttymiseen, jäävät sulkusyötin ja seularuuvi pyörimään tyhjää. Spiraalikuljetin voi myös jäädä päälle, jos viljaa ei riittävästi kasaudukaan yläosaan. Nämä riippuvat viljan määrästä kuivurissa. Pohjakuljettimen rikkoutumisen todennäköisyys on pieni. Sen toimintaa voitaisiin seurata antureilla. Antureiden avulla seurattaisiin pohjakuljettimen liikettä, kun pohjakuljettimen ohjaus on päällä. Tällaisen toteuttaminen ei ole järkevää, kun mietitään todennäköisyyttä tapahtumaan. Myöskään toimintojen päälle jäännistä ei aiheudu turhaa energian kulutusta suurempaa häiriötä, joten tämänkään kannalta ei ole järkevää tehdä muutoksia.

Sulkusyöttimen rikkoutuminen kasaa viljan laarin alaosaan, jolloin pohjakuljetin pysähtyy. Kun viljaa on paljon kuivurissa, voi sitä kasautua yläosaan niin paljon,

että spiraalikuljetin pysähtyy. Seularuuvi ja imuri jäävät päälle tässä tilanteessa. Todennäköistä on, ettei viljaa kasaannu laarin yläosaan riittävästi spiraalikuljettimen sammumiseksi.

Seularuuvin moottorin rikkoutuminen saa viljan kasaantumaan laarin alaosaan. Tämä pysäyttää pohjakuljettimen. Jos viljaa riittää tarpeeksi yläosan kasautumiseen, sammuu myös spiraalikuljetin. Imuri on päällä aina, kun tuloilmapuhallinkin on päällä.

Kaikissa tilanteissa prosessi ei pysähdy kokonaan nykyisillä anturoinneilla. Aiemmin esitettyjen pysäytys- ja käynnistysvaiheen anturointien toteuttamisella toiminnot pysähtyisivät kokonaan jonkin osan rikkoutuessa. Rikkoutumisten todennäköisyys on niin pieni, ettei niiden seurantaan ole järkevää rakentaa lisää anturointia. Todennäköisin rikkoutuminen on spiraalin katkeaminen. Kun spiraali katkeaa, pysähtyy koko prosessi nykyiselläkin anturoinnilla.

4.6.2 Antureiden rikkoutuminen

Kuivurissa käytettävät anturit toimivat sekä prosessia ohjaavina antureina, että turva-antureina. Turva-anturin rikkoutumisen myötä prosessin täytyy pysähtyä. Nykyisessä järjestelmässä tärkeimmät turva-anturit ovat laarin alaosassa olevat ylitäytön estävät anturit. Anturit kytketään olemaan jatkuvasti päällä. Viljan saavuttaessa anturin ne sammuvat. Näin ollen antureiden rikkoutuminen pysäyttää prosessin. Kun antureiden rikkoutuminen pysäyttää prosessin, estetään vaaratilanteiden syntyminen. Antureiden rikkoutumista on muuten vaikeaa havaita ajoissa, koska anturit eivät sijaitse näkyvällä paikalla.

Antureiden vaihtaminen täytyy olla yksinkertaista, sekä täytyy käyttää mahdollisimman paljon samanlaisia ja helposti saatavilla olevia antureita. Näin ollen ei anturin rikkoutuminen pysäytä kuivausprosessia liian pitkäksi aikaa. Anturin vaihtamiseen olisi suositeltavaa tehdä yksinkertaiset ohjeet loppukäyttäjälle. Ohjeesta selviäisi kuinka rikkoutunut anturi vaihdetaan ja kuinka todetaan anturin rikkoutuminen. Kuivurin mukana voitaisiin toimittaa yksi vara-anturi. Näin ollen kuivurin käyttäjä voisi itse vaihtaa anturin sen rikkoutuessa. Käytettävien antureiden pitäisi toimia 24 V:n jännitteellä, jolloin maallikkokin saa vaihtaa anturit

uusiin. Kuivurissa käytettävistä antureista suurin osa on jo nykyisessä järjestelmässä samanlaisia.

Lämpötila- ja kosteusantureiden rikkoutumisen huomaa lämpötilan ja kosteuden näytöistä. Prosessi myös pysähtyy anturin rikkouduttua, kun arvot eivät ole asetusarvojen mukaisia.

4.6.3 Muut häiriöt

Muita häiriöitä ovat esimerkiksi maaseudulla yleiset sähkökatkokset. Ukonilman varalta logiikka kannattaa suojata ukkosylijännitesuojalla. Sähkökatkosten sattuessa käynnistyy logiikka normaalisti käynnistysten mukaan kuivausautomaatiikan ollessa valittuna. Logiikan ei tarvitse tallentaa mitään tietoja prosessin tilanteesta sähkökatkosten varalle. Käsiohjauksia käytettäessä käyttäjä käynnistää sähkökatkon jälkeen haluamansa toiminnot uudelleen.

5 TULOILMAPUHALTIMEN OHJAAMINEN

Tuloilmapuhaltimen ohjaamisella taajuusmuuttajan avulla haetaan energiasäästöjä. Nykyisissä kuivureissa ilmamäärän säätäminen toteutetaan kuristamalla tuloilmaa. Tämä ei ole energiatehokas tapa. Jos halutaan kuivumisen tapahtuvan mahdollisimman nopeasti, käytetään suurta ilmamäärää. Kun kuivumisesta halutaan myös energiatehokasta, säädetään ilmamäärää kuivumisen mukaan. Kuivuminen voi kestää tällöin pitempään, mutta on taloudellisempaa.

5.1 Tuloilmapuhaltimen jatkuva ohjaaminen

Tuloilmapuhaltimen ohjaamiseen vaikuttaa moni asia. Kylmäilmakuivureissa suurin yksittäinen tekijä on tuloilman lämpötila ja suhteellisen kosteuden vaihtelut. Puhaltimen ohjaamiseen vaikuttaa myös viljapatjan paksuus. Mitä paksumpi viljapatja, sitä suurempi ilmamäärä tarvitaan kosteuden poistamiseen. Viljan kosteudella on myös merkitystä. Kun viljan kosteus on yli 22 %, tapahtuu kuivumista käytännössä aina. Jotta päästään viljankosteudessa 15–16 %:iin, täytyy tuloilman suhteellinen kosteus olla alle 60 %. Puhaltimen ohjaukseen vaikuttaa myös kuivattava vilja. Kevyempää viljaa ei voida puhalttaa samalla maksimi-ilmamäärällä kuin raskaampaa viljaa. Jos ilmamäärät ovat samat, lähtee vilja leijumaan tai alkaa kuplia. (1, s. 87.)

Tuloilmapuhaltimen jatkuvalla ohjaamisella saadaan energian säästöä, kun säätäminen toteutetaan taajuusmuuttajalla. Viljakas-kuivurissa haetaan mahdollisimman suuria energiahyötyjä koko kuivausprosessista. Tuloilmapuhallinta pyritään automaation avulla ohjaamaan kuivaustapahtuman mukaan. Alkuvaiheessa kuivausta käytettäisiin suurempia ilmamääriä, kun viljan jyvistä haihtuu pintakosteutta. Jyvän sisäisen kosteuden poistamiseksi tarvitaan korkeampaa tuloilman lämpötilaa. Korkeampi lämpötila saadaan pienentämällä ilmamäärää, jolloin ilma ehtii olla kauemmin Viljakas-kuivurissa olevassa aurinkokeräimessä. Muutaman asteen lämmittämisellä saavutetaan riittävä tuloilman suhteellisen kosteuden pienentyminen. Karkeasti voidaan sanoa, että yhden asteen lämmittäminen laskee tuloilman suhteellista kosteutta viisi prosenttia. (1, s. 87.)

Automaattisella ohjauksella saadaan myös kuivurin käyntiajat optimoitua. Kuivuria käytetään vain silloin, kun olosuhteet ovat kuivaukselle edulliset. Syksyllä kuivaus aika on 6–8 tuntia päivässä. Ulkoilman suhteellinen kosteus on pienimmillään 50 % ja parhaimmillaan ilman lämpötila on 20 astetta. Kun kuivaus pysähtyy yöksi, tasoittuu viljan kosteus yön aikana. Viljan ytimeistä siirtyy kosteutta viljan pintaan, jolloin seuraavana aamuna kuivaus on hetken aikaa nopeampaa.

5.2 Tuloilmapuhaltimen ohjaaminen lämpötilaerolla

Puhallinta säädetään tulo- ja poistoilman lämpötilaeron mukaan. Eron muodostuminen perustuu lämpötilan pienentymiseen, kun poistoilmaan sitoutuu kosteutta. Viljan kuivauksessa poistoilman lämpötilan pitäisi olla pienempi kuin tuloilman, jotta kuivumista voitaisiin todeta tapahtuneen. Lämpötilaero vaihtelee Viljakas-kuivurilla 0–10 asteen välillä.

Tuloilman lämpötilaan vaikuttavat ulkoilman kosteus, lämpötila, tuuli ja auringon tuottama lämpö. Poistoilman lämpötilaan vaikuttavat tuloilman lämpötila, tuloilman kosteus, viljan kosteus, viljakerroksen paksuus, ilmamäärä ja poistoilman kosteus. Poistoilman suhteellisen kosteuden kasvu pienentää lämpötilaa. Molempiin lämpötiloihin vaikuttavat lämpötilamittaukseen käytettävän anturin tarkkuus ja antureiden sijoittelu.

Tuloilmapuhaltimen ohjaaminen perustuu asetusarvoon. Asetusarvona on haluttu lämpötilaero. Kun mittaustulos poikkeaa asetusarvosta, säädetään puhallinta. Puhallinta säädetään isommalle, kun lämpötilaero on asetusarvon yläpuolella. Lämpötilaeron ollessa asetusarvon alapuolella säädetään puhallinta pienemmälle. Alla kaksi esimerkkitilannetta:

Esimerkki 1.

Ulkoilman lämpötila 20 astetta → ulkoilman suhteellinen kosteus 50 % → tuloilman lämpötila 30 astetta → poistoilman suhteellinen kosteus 90 % → poistoilman lämpötila 18–19 astetta → lämpötilaero 11–12 astetta.

Esimerkki 2.

Ulkoilman lämpötila 10 astetta → ulkoilman suhteellinen kosteus 60 % → tuloilman lämpötila 10 astetta → poistoilman suhteellinen kosteus 90 % → poistoilman lämpötila viisi astetta → lämpötilaero viisi astetta.

Esimerkin tilanteet ovat ideaalitalanteita, eli prosessin eri häviöitä ei ole huomioitu. Parhaimmillaan kuivauksessa lämpötilaero on suurimmillaan. Myös puhaltimen pyörimisnopeus olisi tällöin suurimmillaan, koska arvo on reilusti asetusarvon yläpuolella asetusarvon ollessa esimerkiksi viisi astetta. Esimerkissä 2 puhallin pysyisi senhetkisessä nopeudessaan, koska lämpötilaero on asetusarvossaan. Puhaltimen pyörimisnopeus olisi kuitenkin huomattavasti pienempi kuin esimerkiksi 1. Kun esimerkin 1 tilanteessa lämpötilaero pienennettäisiin viiteen asteeseen, eli poistoilman lämpötila olisikin 25 astetta, poistoilman suhteellinen kosteus olisi 45 %. Tähän tilanteeseen ei kuitenkaan päästäisi, koska puhaltimen teho ei riittäisi. Puhallin pyörisi maksimitehollaan. (1, s. 50)

5.2.1 Ohjauksen käyttäytyminen erilaisissa tilanteissa

Tuloilman lämpötilan laskiessa lämpötilaero pienenee. Kuvitellaan lämpötilaeron olleen asetusarvossaan. Puhallin säätyy pienemmälle tuloilman lämpötilan pienentyessä. Lämpötilan pienentyminen johtuu suhteellisen kosteuden kasvamisesta tuloilmassa. Sääto käyttäytyy näin ollen halutulla tavalla tällaisessa tilanteessa. Säädettyäessä puhallinta pienemmälle pysyy poistoilman lämpötila todennäköisesti samana. Tämä johtuu pienentyneestä ilman virtausnopeudesta viljan läpi. Ilmaan ehtii sitoutua pitemmän aikaa kosteutta viljasta. Näin ollen poistoilman suhteellinen kosteus ei muutu.

Tuloilman lämpötilan noustessa lämpötilaero kasvaa. Kuvitellaan lämpötilaeron olleen asetusarvossaan. Tuloilman lämpötilan kasvaessa on tuloilman suhteellinen kosteus pienentynyt. Suhteellisen kosteuden pienennyttyä ilman kuivauskyky parantuu. Lämpötilaeron kasvaessa säädetään puhallinta suuremmalle. Puhallinta säädettyäessä suuremmalle kasvaa poistoilman lämpötila. Näin ollen puhallinta isommalle säätämällä päästään takaisin asetusarvoon. Nyt kuivempaa ilmaa virtaa enemmän viljapatjan läpi jolloin kuivuminen tehostuu.

Poistoilman lämpötilan noustessa lämpötilaero pienenee. Lämpötilan nousu johtuu suhteellisen kosteuden pienentymisestä. Kun lämpötilaero pienenee alle asetusarvon, säädetään puhallinta pienemmälle. Puhallinta pienemmälle säädettyäessä ilman virtausnopeus viljan läpi pienenee, jolloin siihen ehtii sitoutua enemmän kosteutta. Kun ilmaan sitoutuu enemmän kosteutta, laskee poistoilman lämpötila. Kuivauksesta tulee tehokkaampaa.

Poistoilman lämpötilan laskiessa lämpötilaero suurenee. Poistoilman lämpötilan pienentyminen johtuu suhteellisen kosteuden kasvamisesta poistoilmassa. Oletetaan lämpötilaeron olleen asetusarvossaan. Puhallin säätyy isommalle, jolloin viljapatjan läpi virtaa suurempi ilmamäärä. Poistoilman suhteellinen kosteus pienenee jolloin myös poistoilman lämpötila kasvaa. Näin saavutetaan lämpötilaeron asetusarvo.

5.2.2 Viljan kosteuden määrittäminen

Lämpötilaerolla säädettyäessä viljan kosteus voidaan todeta olevan riittävän pieni, kun lämpötilaero on annetun arvon mukainen. Tällainen lämpötilaeron arvo voisi olla esimerkiksi 0,2 astetta. Lämpötilaerolla ei ole suoraa yhteyttä viljan kuivuusprosenttiin. Viljan kuivuusprosentti saadaan vain suoraan viljasta mittaamalla. Lämpötilaerolla viljan kuivuutta pääteltäessä todetaan vain kuivumisen loppuneen.

Käytettäessä lämpötilaeroa kuivuuden määrittämiseen voi viljan loppukosteus vaihdella suuresti. Kun tuloilman suhteellinen kosteus on suuri, ei kuivumista tapahdu enää viljan kosteuden ollessa 20 %:n luokkaa. Tuloilman suhteellisen kosteuden ollessa pienempi, esimerkiksi 50 %, saavutetaan viljan kosteudessa 15 %:n kosteus.

Todellisen viljan kosteuden määrittämiseen tarvitaan anturi mittaamaan kosteutta suoraan viljasta. Näin ollen päästäisiin aina haluttuun kosteuteen. Kun viljan kosteus päätellään lämpötilaerosta, kuivaus voi pysähtyä liian aikaisin. Tällaisissa tilanteissa täytyisi kuivausta pystyä jatkamaan olosuhteiden parantamisessa.

Nykyisessä järjestelmässä ei tällaista mahdollisuutta ole. Kuivaus pysähtyy, kun lämpötilaero on alle 0,5 astetta neljän minuutin ajan. Ajan kuluttua loppuun todetaan kuivauksen olevan valmis. Jos kuivausta halutaan jatkaa, käytetään kuivausautomaattiikka kytkin pois päältä. Kuivaus käynnistyy uudelleen neljän minuutin ajaksi, jos kuivumista ei tapahdu. Jos kuivumista tapahtuisi, jatkuisi kuivaus normaalisti.

5.2.3 Säädön hyvät ja huonot puolet

Lämpötilaerolla säädettäessä vaadittu antureiden tarkkuus on 0,1 asteen luokkaa. Kun käytetään lämpötilaeroa, mittausvirhe kaksinkertaistuu. Virhe muodostuu kahden anturin yhteen lasketusta virheestä.

Haasteena on valita oikea asetusarvo säädölle. Asetusarvo on arvo, johon lämpötilaero pyritään saamaan. Liian korkean tai matalan asetusarvon valinnalla kuivausprosessista ei tule energiatehokas. Jos asetusarvo valitaan liian suureksi, prosessissa harvoin päästään tähän arvoon. Tämä tarkoittaa sitä, että puhallin pyörii minimiarvolla. Kun asetusarvo on liian pieni, pyörii puhallin maksimiarvolla pitääkseen lämpötilaeron asetusarvon mukaisena.

Säädön hyviä puolia ovat lämpötilan ja kosteuden käyttäytymisen tunteminen eri tilanteissa. Tästä johtuen säädön käyttäytyminen on ennakoitavissa. Myös saatavilla olevat mittaustekniikat ovat luotettavia. Saatavilla on antureita, joiden mittaustarkkuus on $\pm 0,15$ astetta tai pienempi. Tällainen tarkkuus riittäisi kuivurin toimintaan.

5.3 Puhaltimen ohjaaminen poistoilman suhteellisen kosteuden avulla

Puhaltimen ohjaukselle asetetaan asetusarvoksi poistoilman suhteellinen kosteus 90 %. Kun mittaustulos on suurempi kuin 90 %, säädetään puhallinta suuremmalle. Nyt viljan läpi virtaa suurempi ilmamäärä, jolloin kosteutta poistuu määrällisesti enemmän. Suhteellinen kosteus laskee 90 %:iin. Oltaessa asetusarvon alapuolella säädetään puhallinta pienemmälle. Tällöin ilmaa virtaa vähemmän ja hitaammin viljan läpi. Yhteen kuutioon ilmaa ehtii sitoutua suurempi määrä kosteutta, jolloin suhteellinen kosteus saadaan pidettyä 90 %:ssa. Viljan kuivauksen loppuvaiheessa ei saavuteta enää 90 %:n suhteellista poistoilman

kosteutta. Tällöin puhallin säätyy minimiarvoonsa. Kun puhallin on minimiarvossaan, ehtii tuloilma lämmetä aurinkokeräimessä kauemmin, jolloin on mahdollista saavuttaa viljalle 14–16 %:n kosteus.

5.3.1 Ohjauksen toiminta ja viljan kosteuden määrittäminen

Poistoilman kosteuden perusteella säädettyäessä säätöön tulee viivettä. Kun tuloilman kosteus muuttuu, näkyy muutos viiveellä poistoilman kosteudessa. Tuloilman lämpötilan laskiessa ilman suhteellinen kosteus kasvaa. Tuloilman suhteellisen kosteuden kasvaessa myös poistoilman suhteellinen kosteus voi kasvaa. Jos näin käy, puhalletaan viljaan kosteaa ilmaa enemmän. Tässä kohtaa säätö toimisi väärin. Tällainen tilanne täytyisi testata käytännössä, jotta voidaan todeta kuinka säätö todellisuudessa käyttäytyisi. On myös mahdollista, että tuloilman suhteellisen kosteuden kasvaessa poistoilman suhteellinen kosteus pienenee. Tämä perustuu tuloilman huonompaan kykyyn sitoa kosteutta itseensä. Tällä tavalla käyttäytyessään puhallin säätyisi oikein. Näitä tilanteita pitäisi testata käytännössä useammalla eri viljakerroksen paksuudella ja tehdä niistä johtopäätökset säädön toiminnasta.

Tuloilman lämpötilan noustessa laskee tuloilman suhteellinen kosteus. Suhteellisen kosteuden laskiessa ilman kuivauskyky parantuu. Poistoilmaan sitoutuu enemmän kosteutta ja poistoilman suhteellinen kosteus kasvaa. Puhallinta säädetään suuremmalle, jolloin viljan läpi virtaa suurempi ilmamäärä. Suhteellinen kosteus laskee pienemmäksi. On myös mahdollista, että tuloilman suhteellisen kosteuden laskiessa myös poistoilman suhteellinen kosteus laskee jolloin puhallin säätyisi ensiksi pienemmälle, jos oltaisiin asetusarvossa. Puhallin säätyisi takaisin suuremmalle hetken päästä poistoilman suhteellisen kosteuden kasvaessa.

Poistoilman suhteellisesta kosteudesta ei voida suoraan määrittää viljan kosteutta. Viljan kosteuden määrittämiseen tarvitaan joko lämpötilaeromittauksia tai tuloilman suhteellinen kosteus. Kun tuloilman suhteellisen kosteuden ja poistoilman suhteellisen kosteuden ero on riittävän pieni, todetaan viljan olevan kuivaa.

5.3.2 Säädön hyvät ja huonot puolet

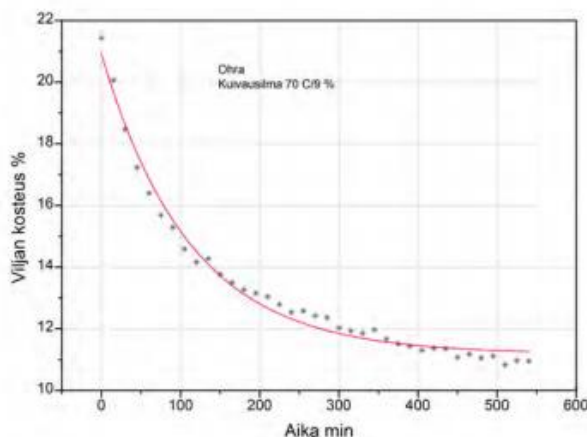
Säädön ennakointi on vaikeaa. Poistoilman suhteelliseen kosteuteen perustuva säättöä täytyisi kokeilla käytännössä ja seurata kuinka se käyttäytyy. Säättöön vaikeutta aiheuttaa tuloilman suhteellisen kosteuden ja lämpötilan suuret vaihtelut käytettäessä kylmäilmakuivuria. Lämminilmakuivurissa säättö voisi toimia paremmin. Säättöön tulee myös viivettä, kun prosessia säädetään poistuvan suureen mukaan. Viiveen määräkään ei ole ennakoitavissa vaan se riippuu kuivausilman virtausnopeudesta viljapatjan läpi. Virtausnopeuteen taas vaikuttavat viljapatjan paksuus ja -kosteus sekä ilmamäärä. Hyvänä puolena on myös säädön parametrintointi. Asetusarvon valinta olisi helppoa.

5.4 Tuloilmapuhaltimen ohjaaminen kahdella vakioarvolla

Vakioarvoilla ohjattaessa ei puhallinta säädettäisi jatkuva-aikaisesti. Puhaltimella olisi kaksi vakioarvoa. Suuremmalla arvolla puhallin pyörisi kuivauksen alussa ja pienemmällä kuivauksen lopussa.

5.4.1 Ohjauksen toiminta

Säättöidea perustuu viljan kaksivaiheeseen kuivumisprosessiin. Kuten kuvasta 7 huomataan, on kuivuminen alkuvaiheessa nopeampaa. Kuva on lämminilmakuivurissa tapahtuvasta kuivauksesta, mutta soveltuu myös kylmäilmakuivurin kuivaukseen. Aikamääreet eivät pidä paikkaansa verrattaessa kylmäilmakuivaukseen.



KUVA 7. Ohran kuivumisnopeus ajan funktiona (1. s. 33)

Kuvasta nähdään kuivauksen hidastuvan loppuvaiheessa. Kylmäilmakuivurissa loppuvaiheen kuivauksen tehostamiseksi tarvitaan myös muutaman asteen tuloilman lämpötilan nousua. Kun ilmamäärää pienennetään loppuvaiheessa, ehtii ilma lämmetä aurinkokeräimessä kauemmin.

Puhaltimen pyörimisnopeudet määritettäisiin viljan paksuuden ja viljalajin mukaan. Esimerkiksi automaatiokeskuksen ovessa olisi säätöpotentiometri jolla säädettäisiin viljapatjan paksuus, jonka mittausta ei kannattaisi automatisoida, koska sen tarkkuus ei ole kovin tärkeä. Viljapatjan paksuus myös vaihtelee kuivauksen edetessä viljan liikkuesssa kuivurissa.

Puhallin pyörisi aluksi suuremmalla nopeudellaan. Viljan kosteuden saavuttaessa 22 % säätyisi puhallin pienempään arvoonsa. Säädössä tarvittaisiin viljan kosteutta mittaavaa anturia. Jos viljan kosteusmittausta ei suoritettaisi, säätyisi puhallin pienempään arvoonsa viljan kuivumisen loppuessa. Viljan kuivumista seurattaisiin tulo- ja poistoilman lämpötilaerolla.

5.4.2 Säädön hyvät ja huonot puolet

Tällaisessa säädössä ei tarvittaisi PID-säädintä jolloin ohjelman valmistaminen ja käyttöönotto olisi hieman helpompaa. Säädöllä ei saavutettaisi niin suuria energiahyötyjä kuin jatkuva-aikaisella säädöllä saavutetaan. Ilman viljan kosteusmittausta siirtyminen pienemmällä puhaltimen kierrosnopeudelle vaihtelisi. Tämä johtuisi tuloilman kosteuden vaihtelun vaikutuksesta viljan kuivausprosessiin. Suuremmalla tuloilman suhteellisella kosteudella ei saavuteta välttämättä niin suurta kuivumista, että se voidaan lämpötilaerosta todeta. Tällöin kuivuri siirtyisi käyttämään pienempää ilmamäärää aikaisemmassa vaiheessa.

5.5 Puhaltimen ohjauksen säätöteoria

Automaatiotekniikassa prosessin säätäminen perustuu säätöteoriaan. Prosessien säädöistä yli 90 % tehdään PID-säätimellä. Tässä työssä hyödynnetään P- ja PI-säätöä, jotka ovat osa PID-säätöä. Käytettäväksi ehdotettavaa säätöä kutsutaan kaskadisäädöksi.

5.5.1 P-, PI- ja PID-säätö

P-säätö on PID-säädön perusta. P-kirjain tulee sanasta proportionaalinen eli suhteellinen. P-säädöstä on käytetty myös termiä suhdesäätö. P-säätö muuttaa takaisinkytketyssä järjestelmässä toimilaitteelle menevää ohjausviestiä verrannollisesti erosuureeseen nähden. P-säätö jättää yleensä pysyvän säätöpoikkeaman, eli haluttuun asetusarvoon ei päästä. Säätöpoikkeama aiheutuu, koska P-säätö reagoi vain ohjausarvon muutoksiin häiriöttömissä tilanteissa. Kun ohjausarvo ei muutu, on erosuure 0. Säätö tapahtuu vain erosuureen ollessa nollasta poikkeava. Tästä huolimatta P-säätö on monessa tapauksessa käyttökelpoinen säätö. Säätö on virityksen suhteen yksinkertainen, kun viritettäviä parametreja on vain yksi. Lisäksi P-säätö voidaan toteuttaa omavaraaisena eli se ei tarvitse ulkoista tehonsyöttöä. Tällaisesta P-säädöstä on esimerkkinä termostaattiset patteriventtiilit. Käytettäessä P-säätöä täytyy varmistaa, ettei pienehkö säätöpoikkeama aiheuta haittaa. (7, s. 30.)

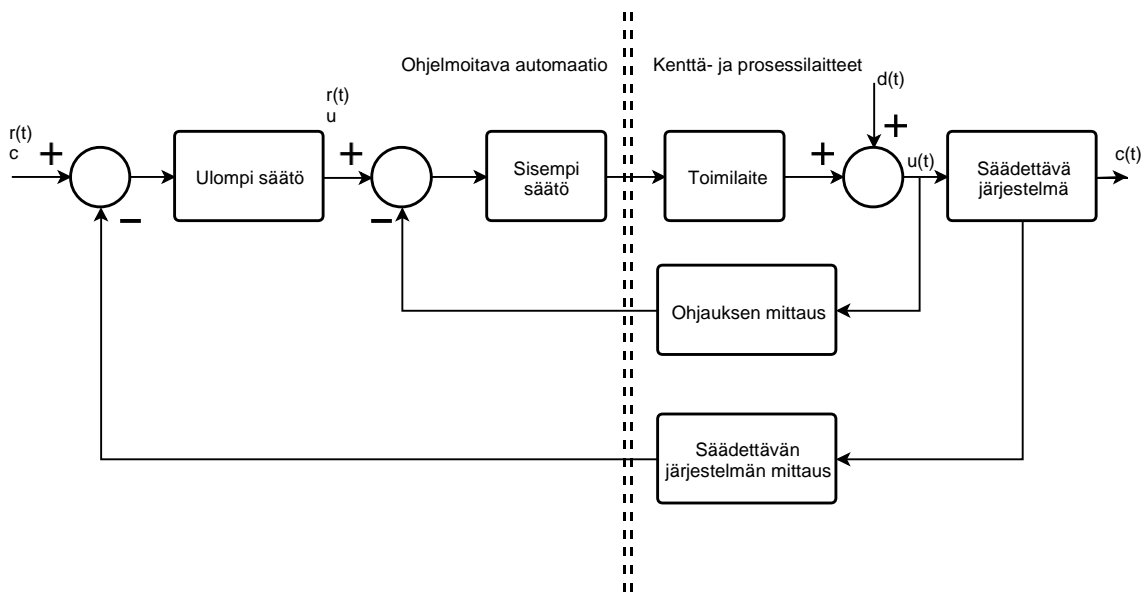
PI-säätö on ratkaisu säätöpoikkeaman poistamiseen. I-termi jää nollasta poikkeavaksi myös silloin, kun erosuure on nolla. I-termi on integroiva termi eli erosuureen aikaintegraalista riippuvainen. PI-säätö kannattaa valita, kun pysyvästä säätöpoikkeamasta on haittaa. PI-säädön virittäminen on hankalampaa kuin P-säädön johtuen kahdesta viritettävästä parametrasta. PI-säätö saadaan summaamalla yhteen P- ja I-termi. (7, s. 34.)

Kun säädöltä vaaditaan voimakasta ja välitöntä reagointia säätöpoikkeamaan, otetaan mukaan D-termi. D-termi on derivoiva termi. Jos mittauksessa esiintyy viivettä, näkyvät säädettävässä järjestelmässä tapahtuvat muutokset myöhässä säätimille. Tällaisissa tilanteissa pienikin erosuureen muutos voi olla merkinä prosessissa tapahtuneista suurista muutoksista. Tällöin säädön pitää ottaa eräänlaista ennakkoa ja ohjata järjestelmää voimakkaasti oikeaan suuntaan. PID-säätö reagoi nopeasti säätöpoikkeamaan ja poistaa sen kokonaan. PID-säädössä summataan yhteen P-, I- ja D-termi. PID-säädön virittäminen on haastavaa johtuen kolmesta viritettävästä parametrasta. (8, s. 36.)

5.5.2 Kaskadisäätö ja säädön hyödyntäminen viljakuivurin ohjauksessa

Kaskadisäätö muodostuu ulommasta ja sisemmästä säätöpiiristä. Ulompi säätöpiiri huolehtii varsinaisen säädettävän järjestelmän tai prosessin säädöstä ja sisempi säätöpiiri huolehtii säädettävän järjestelmän ohjaussuureen säädöstä. Sisempi säätöpiiri pyrkii kompensoimaan ohjaussuureeseen vaikuttavat häiriöt ennen kuin ne pääsevät vaikuttamaan säädettävään prosessiin. Sisempi säätöpiiri saa asetusarvonsa ulommalta säätöpiiriltä. (7, s. 45.)

Sisemmän säätöpiirin erosuure muodostuu puhaltimelta tulevasta pyörimisnopeustiedosta ja ulommalta säädöltä tulevasta asetusarvotiedosta. Ulomman säätöpiirin erosuure muodostuu lämpötilaerosta ja suunnittelijan asettamasta lämpötilaeron asetusarvosta. Kuvassa 8 on kaskadisäädön toiminta yleisessä lohkokkaavio muodossaan.

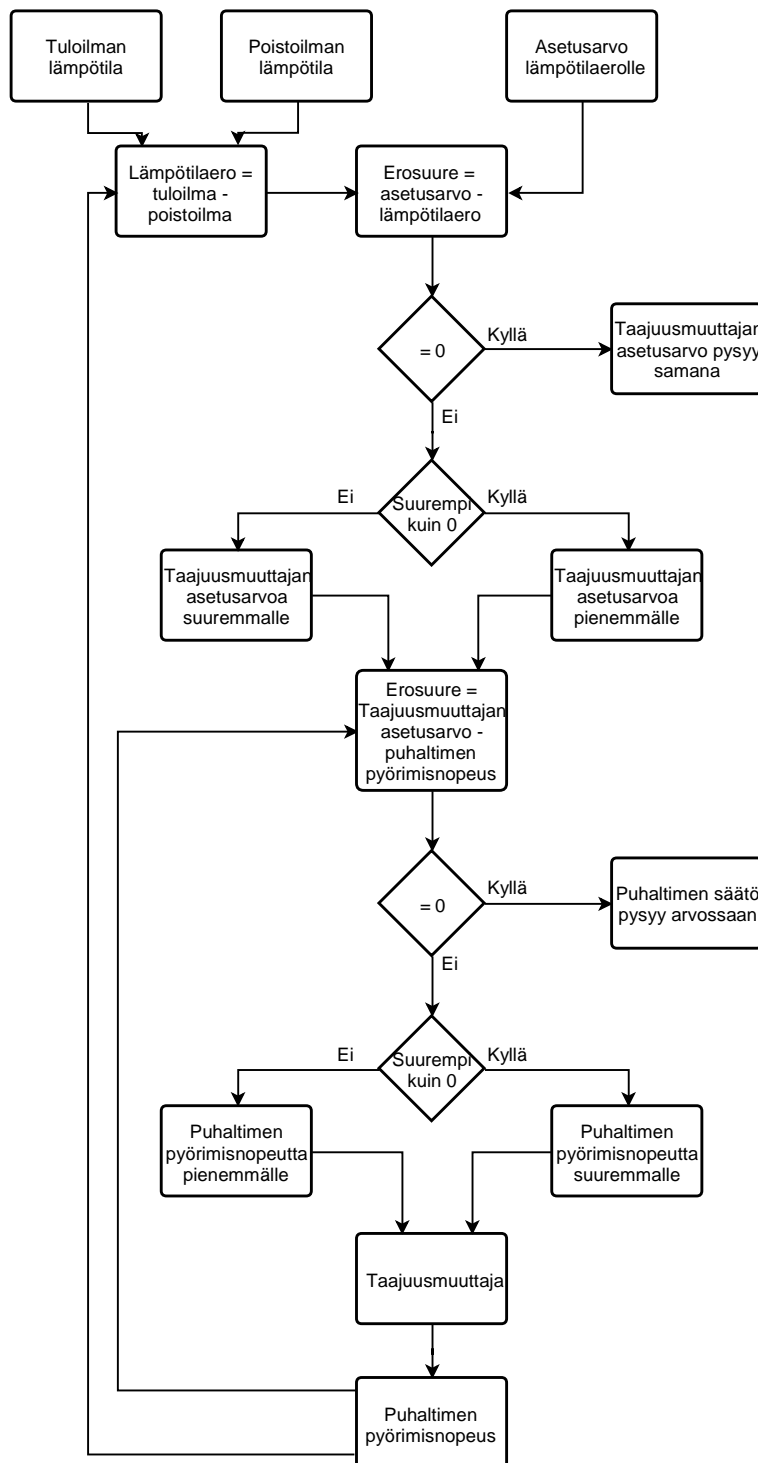


KUVA 8. Kaskadisäädön lohkokkaavio yleisessä muodossaan (7, s. 45)

Viljankuivauksessa kaskadisäädön avulla saadaan puhallin säädettyä prosessin kannalta oikealle pyörimisnopeudelle. Kaskadisäädöllä puhaltimen pyörimisnopeus saadaan myös pidettyä halutussa arvossa prosessissa tapahtuvista muutoksista huolimatta.

Puhaltimen ohjauksessa sisemmän säätöpiirin muodostavat taajuusmuuttaja ja säädettävä puhallin. Taajuusmuuttajalle tulee takaisinkytkentätietona puhaltimen pyörimisnopeus. Taajuusmuuttaja saa asetusarvonsa ulommalta säätöpiiriltä. Asetusarvo ja puhaltimelta tuleva pyörimisnopeustieto muodostavat erosuureen. Erosuureen perusteella taajuusmuuttaja säätää puhallinta. Erosuureen ollessa positiivinen säädetään puhallinta suuremmalle, ja erosuureen ollessa negatiivinen säädetään puhallinta pienemmälle. Sisempi säätöpiiri huolehtii kaskadisäädössä puhaltimen pyörimisnopeuden pysymisestä halutussa arvossaan. Yksi pyörimisnopeuteen liittyvä esimerkki on vastapaineen muuttuminen kuivauksen aikana. Vastapaine pienenee kuivauksen edetessä. Pieneminen johtuu viljan jyvien kutistumisesta ja roskien vähentymisestä. Viljakerros ohenee noin 10 % kuivauksen aikana.

Uloimmalla säätöpiirillä säädetään haluttu puhaltimen pyörimisnopeus, joka toimii sisemmän säädön asetusarvona. Sääto tapahtuu lämpötilaeron mukaan. Lämpötilaerolle asetetaan asetusarvo, joka ei ole loppukäyttäjän muokattavissa. Ulomman säätöpiirin erosuure muodostuu asetusarvosta ja lämpötilaerosta. Erosuureen ollessa positiivinen säädetään puhaltimen pyörimisnopeuden asetusarvoa pienemmälle. Suureen ollessa negatiivinen säädetään puhaltimen pyörimisnopeuden asetusarvoa suuremmalle. Kuvassa 9 näkyy puhaltimen säätö lämpötilaeron perusteella.



KUVA 9. Puhaltimen pyörimisnopeuden säätö lämpötilaeron perusteella

5.5.3 Säädön parametointi

Säädön toimivuuden kannalta tärkeää on oikeat säätöön liittyvät parametroidit. P- ja PI-säätimien parametointi tehdään todellisen prosessin mukaan, puhutaan virittämisestä. Virittäminen tapahtuu ensimmäisen testauksen yhteydessä.

Oikeiden viritysparametrien löytämiseksi tarvitaan todellinen kuivaustilanne. Säättöön liittyy myös muita parametreja, jotka valitaan suunnitteluvaiheessa. Tällaisia parametreja ovat lämpötilaeron asetusarvo, puhaltimen maksimi- ja minimiarvot, ulkolämpötilan arvo, ulkoilman suhteellinen kosteus ja lämpötilaero, jolloin todetaan viljan olevan kuivaa.

Säädettäessä poistoilman suhteellisen kosteuden mukaan parametroidaan seuraavat arvot: haluttu poistoilman suhteellinen kosteus, puhaltimen maksimi- ja minimiarvot, ulkoilman lämpötilan arvo, ulkoilman suhteellinen kosteus, poisto- ja tuloilman suhteellisen kosteuden ero, jolloin vilja on kuivaa, tai lämpötilaero. P- ja PI-säätimen parametointi on molemmissa säädöissä samanlainen.

5.6 Puhaltimen pyörimisnopeuden maksimi- ja minimiarvojen määrittäminen

Puhaltimen pyörimisnopeuden maksimi- ja minimiarvojen määrittämiseen on kolme vaihtoehtoa. Ennakkoon lasketut maksimi- ja minimiarvot muodostuvat viljakerroksen paksuudesta ja viljalajista. Käyttäjä valitsee, mitä viljaa kuivataan, sekä säätää viljakerroksen paksuuden. Paksuutta ei olisi tarvetta jatkuvasti mitata. Automaattisen mittauksen huonoja puolia ovat esimerkiksi kalliimpi toteutus, kerrospaksuuden vaihtelu viljan liikkuesssa kuivurissa sekä lisääntyvä huollon tarve, jota kautta kalliimmat käyttökustannukset. Säättö perustuu arvioituun vastapaineen muodostumiseen. Ennakkoon lasketuilla arvoilla saadaan hyvin estettyä viljan leijumaan lähteminen.

Laskentaan voitaisiin hyödyntää kaavaa 1 (1, s. 57).

$$\Delta p = C * a \frac{h * v^2}{\ln(1 + b * v)} \quad \text{KAAVA 1}$$

v = ilman pintanopeus ($\frac{m^3/s}{m^2}$), a = materiaalikerroin, b = materiaalikerroin, h = materiaalin paksuus, C = korjauskerroin

Taulukossa 2 on kaavassa käytettyjä materiaalikertoimia.

TAULUKKO 2. Materiaalikertoimien arvoja. (1, s. 57)

Materiaali	a Pa·s ² /m ³	b m ² ·s/m ³	Nopeusalue m ³ /s/m ²
Ohra	2,14·10 ⁻⁴	13,2	0,0056–0,203
Kaura	2,41·10 ⁻⁴	13,9	0,0056–0,203
Vehnä	2,70·10 ⁻⁴	8,77	0,0056–0,203
Peruna	2,18·10 ⁻³	8,24	0,03–0,30

Toisena vaihtoehtona on hyödyntää viljapatjan muodostamaa vastapainetta. Ilmamäärän kasvattaminen lisää vastapainetta, samoin viljakerroksen paksuus, tiiveys ja roskaisuus. Painetta hyödynnetessä täytyy eri kuivaustilanteille käyttää erilaisia vastapainearvoja. Tämäkään säätö ei toimisi täysin automaattisesti, vaan arvot pitäisi olla etukäteen määriteltäviä. Vastapainetta mitattaisiin tuloilman putkesta.

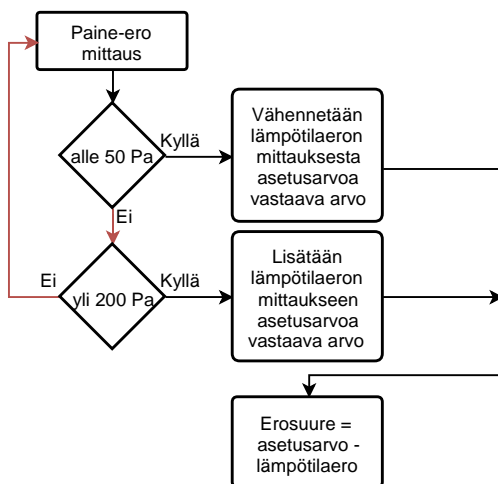
Kolmantena vaihtoehtona on hyödyntää viljapatjan muodostamaa paine-eroa, josta päätellään ilman virtaus viljapatjan lävitse. Kun ero on suuri, ilmaa ei virtaa tarpeeksi viljapatjan läpi. Eron ollessa pieni virtaa ilmaa liikaa viljapatjan läpi. Kun ilmaa virtaa viljapatjan läpi liikaa, on paine molemmin puolin patjaa lähes sama. Ilmamäärää pienentämällä paine-ero kasvaa eikä vilja kupli tai leijaile. Kun ilmaa virtaa viljapatjan läpi liian vähän, on paine-erot suuria viljapatjan ylä- ja alapuolella. Säädetessä puhallinta suuremmalle tasoittuvat paine-erot suuremman ilmamäärän virratessa viljapatjan läpi.

Säätö voidaan toteuttaa summaamalla lämpötilaeron asetusarvoa vastaava arvo lämpötileroon, kun halutaan suurentaa ilmamäärää. Haluttaessa pienempää ilmamäärää vähennetään lämpötilan asetusarvoa vastaava arvo lämpötilaerosta. Nämä arvot tarkentuvat lopullisesti testausten yhteydessä. Arvon täytyy olla vähintään yhtä suuri kuin lämpötilaeron asetusarvo. Mahdollisesti arvon täytyy olla suurempi kuin asetusarvo, jotta kaikissa mahdollisissa tilanteissa päästään alle asetusarvon, kun haluttua säätää puhallinta pienemmälle.

Kun lämpötilaero on lähellä nollaa, puhallin pyrkii pienemmälle. Nyt paine-eron kasvaessa liian suureksi tarvitsee puhallinta saada suuremmalle. Puhallin säätyy suuremmalle, kun summataan lämpötileroon asetusarvoa vastaava

summa. Summaus kestää niin kauan, kunnes paine-ero on halutussa arvossa. Summaus tehdään säätimelle menevään lämpötilaerotietoon, jolloin todellinen lämpötilaero ei mene ikinä miinukselle ja sammuta kuivausta.

Säädön hyvänä puolena on samojen arvojen käyminen kaikissa kuivaustapauksissa riippumatta viljalajista tai viljan määrästä kuivurissa. Säädön optimaalinen toiminta edellyttää testausta ja sopivien asetusarvojen löytämistä. Kuvassa 10 on selvennetty toimintaa.



KUVA 10. Paine-erosäädön toiminta

Jos halutaan seurata pelkästään ilman virtausta viljakerroksen läpi, voidaan siihen käyttää myös ilman virtausnopeuden mittaamista. Viljapatjan yläpuolelta mitataan ilman virtausnopeutta ja säädetään puhallinta sen mukaan suuremmalle tai pienemmälle. Virtausnopeuden ollessa liian pieni säädetään puhallinta suuremmalle ja virtausnopeuden ollessa liian suuri säädetään puhallinta pienemmälle. Eri viljalajeille on omat leijumisnopeutensa. Taulukossa 3 on viljalajeille leijumisnopeuksia. Viljan leijumisnopeus on ilman virtausnopeus, missä vilja lähtee leijumaan.

TAULUKKO 3. Biomateriaalin virtausvastuskertoimia ja leijumisnopeuksia (1, s. 58)

Materiaali	Virtausvastuskerroin c_w	Leijumisnopeus m/s
Vehnä	0,2 ... 0,3	9 - 12
Kaura	0,1 ... 0,2	8 - 9
Ruis	0,2	8 - 10
Vehnän olki 0,6 cm	0,84	5,2
Vehnän olki 2,5 cm	0,80	4,3
Vehnän olki 7,5 cm	0,90	3,0
Vehnän olki 25 cm	0,91	2,7
Peruna	0,64	32
Pyöreä kivi		40

6 KUIVURIN TOIMINTOJEN KEHITTÄMINEN JA KÄYTTÖÖN- OTTO

Tulevaisuudessa kuivurin toimintaa voidaan kehittää viemällä automatisointi huomattavasti pidemmälle. Tarkkuutta kuivausprosessin säätämiseen saadaan hyödyntämällä viljankosteusmittaria. Mukaan voidaan ottaa myös kuivuriin liit-
tyvä mobiilisovellus, josta loppukäyttäjä voi tehdä säätöjä kuivuriin. Tässä lu-
vussa esitellään muutamia ideoita, joita voidaan hyödyntää kuivurin jatkokehit-
telyssä. Kuivurin ohjausta parantavista lisäantureista on kerrottu luvussa 5.

6.1 Viljankosteusmittarin hyödyntäminen kuivauksessa

Kuivausprosessin säädettävyys ja tarkkuus paranevat huomattavasti, kun käy-
tetään viljankosteusmittaria, jolloin säätö voidaan suunnitella käyttäytymään vil-
jankosteuden mukaan. Viljankosteusmittarin avulla voitaisiin hyödyntää kuivauk-
sen alkuvaiheessa myös vähän heikommat kuivausilmat. Kun viljankosteus olisi
yli 22 %, voisi tuloilman suhteellisen kosteuden rajana olla esimerkiksi 90 %.
Kuivuri olisi päällä, kun ulkoilman suhteellinen kosteus olisi alle 90 %. Tällöin tu-
loilman suhteellinen kosteus olisi 85%. Kun viljankosteus saavuttaisi 22 %,
muutettaisiin tuloilman suhteellisen kosteuden raja 65 %. Nyt kuivuri olisi päällä,
kun tuloilman suhteellinen kosteus olisi 65 %:iin. Automaatiojärjestelmä tekisi
nämä valinnat itseksensä. Näin kuivumistapahtumasta saataisiin nopeampi.

Kosteusmittaria käytettäessä voitaisiin puhaltimen säätämiseen käytettävien
lämpötila-antureiden virheeksi sallia hiukan isompi arvo. Silloin myös lämpötila-
anturit olisivat todennäköisesti halvemmat. Kuivumisen loppuminen voitaisiin
säättää tapahtumaan halutussa viljan loppukosteudessa jokaisella kuivausker-
ralla. Kuivausprosessia ei tarvitsisi loppukäyttäjän seurata niin tarkasti, kun vil-
jankosteutta mitattaisiin jatkuvasti. Vilja ei pääsisi myöskään kuivumaan liian
kuivaksi.

Huonoina puolina viljankosteusmittarin hyödyntämiseen voidaan pitää anturin
kallista hankintahintaa ja mittaustarkkuutta eri viljalajeille. Anturin hyödyntämi-
nen prosessin säätöön on järkevää, vaikka mittauksissa esiintyisi muutaman

prosenttiyksikön virheitä. Säädöissä kannalta muutaman prosenttiyksikön virheellä ei ole merkitystä. Viljan lopullisessa kosteudessa ei saa esiintyä suuria virheitä. Lopullisen kosteuden joutuu loppukäyttäjä varmistamaan joka tapauksessa.

6.2 Kuivurin etäkäyttö mobiilisovelluksen avulla

Kuivurin käyttäjällä olisi kännykässään sovellus, josta pystyisi säätämään kuivurin parametreja sekä seuraamaan kuivumisen etenemistä. Sovelluksesta näkyisi esimerkiksi reaaliaikaisesti viljankosteus, tuloilman suhteellinen kosteus- ja lämpötila, poistoilman suhteellinen kosteus- ja lämpötila sekä oletettu kuivausprosessin loppumisaika. Käyttäjä voisi halutessaan käynnistää kuivauksen tai säätää tuloilmapuhallinta suuremmalle. Etäkäytön kautta voitaisiin viljaa myös kierrättää kuivurissa tarpeen vaatiessa, jos sopivaa kuivausilmaa ei ole tullut muutaman vuorokauden aikana. Näin estettäisiin viljan pilaantumista kuivurissa.

Sovellus voisi hyödyntää säätietoja kuivaukseen ilmoittamalla sopivista puinti- ja kuivausilmoista. Automaattista säätöä käytettäessä sovellus säätäisi kuivausta tehokkaammaksi kuivauksen loppuvaiheessa, jos vesisade lähestyisi aluetta. Kuivauksen aloitusta voitaisiin myös siirtää päivällä eteenpäin kuivausilman ollessa parempi silloin. Näin voitaisiin päästä energiatehokkaasti haluttuun viljan loppukosteuteen.

6.3 Tuuli- ja aurinkosähkön hyödyntäminen

Maatilat ovat yleensä avoimilla paikoilla, joissa voitaisiin hyödyntää tuulienergiaa. Kuivurin moottoreiden tarvitsema energia voitaisiin ottaa tuulesta, jos sitä olisi tarpeeksi saatavilla. Tuulivoiman automaatio ja kuivauksen automaatio keskustelisivat keskenään. Muina aikoina tuulienergia voitaisiin hyödyntää tilan muihin sähköntarpeisiin.

Aurinkoenergiaa voitaisiin myös hyödyntää vielä nykyistä tehokkaammin. Käytettäisiin aurinkoenergiaa myös moottoreiden käyttöön. Näin kuivurista tulisi täysin puhdasta uusiutuvaa energiaa hyödyntävä prosessi.

6.4 Kuivurin käyttöönotto

Kuivurin käyttöönotossa ajetaan kuivurilla testiajo. Testiajon aikana säädetään P- ja PI-säätimen parametrit kohdilleen. Ajossa tarkistetaan myös, että kaikki toiminnot toimivat niin kuin on suunniteltu. Ajosta laaditaan testauspöytäkirja, minkä mukaan testi suoritetaan aina. Testauspöytäkirjasta nähdään tarvittaessa myöhemmin, että kaikki toiminnot ovat toimineet alkutilanteessa suunnitellulla tavalla.

7 POHDINTA

Työn päätarkoituksena oli laatia käyttäjävaatimukset Viljakas-viljakuivurin automaatiojärjestelmälle. Käyttäjävaatimusten laadintaa varten suunniteltiin tuloilmapuhaltimen säätö uudestaan ja parannettiin kuivurin turvallisuutta automaatiojärjestelmän kannalta. Käyttäjävaatimuksia ei julkaista.

Tuloksena syntyneiden käyttäjävaatimusten pohjalta voidaan alkaa toteuttaa uutta automaatiojärjestelmää. Ongelmana työssä oli puhaltimen säädön suunnittelu, erityisesti puhaltimen maksimi- ja minimiarvojen säätöminen vaihtelevan viljamäärän ja viljalajin mukaan. Ratkaisuksi löydettiin paine-eroon perustuva säätö maksimi- ja minimiarvoille. Työssä esiteltyjä ratkaisuja voidaan käyttää myös muissa kuivaustapahtumissa. Taajuusmuuttajan avulla tapahtuvaa puhaltimen säätöä voidaan hyödyntää esimerkiksi lämminilmakuivureiden ohjauksessa tai polttopuun ja hakkeen kuivauksessa.

Opinnäytetyössä esitettyjä ratkaisuja ei ole testattu. Työssä esitetyt parametrit voivat testausten myötä muuttua paljonkin. Opinnäytetyön myötä on huomattu, että automaation avulla voidaan tehostaa ja parantaa perinteisiä prosesseja. Tehostamisen ja toiminnan parantaminen vaatii vain rohkeaa ja ennakkoluulotonta suhtautumista vanhoihin toimintatapoihin.

LÄHTEET

1. Ahokas, J – Hautala, M – Jokiniemi, T 2013. Maatilakuivurit. Helsingin yliopisto. Maataloustieteiden laitos. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Saatavissa: <http://www.energia-akatemia.fi/attachments/article/59/Maatalakuivurit.pdf>. Hakupäivä 7.6.2016.
2. Ahokas, Jukka 13.2.2014. Viljankuivauksen tehostaminen. Helsingin yliopisto. Maataloustieteiden laitos. Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. Saatavissa: <http://www.seduai kuiskoulutus.fi/loader.aspx?id=99154706-7ac6-4c7f-9d4c-54a02fb465a1>. Hakupäivä 8.6.2016.
3. Viljakas. Kuivuri. Uusi innovaatio päihittää perinteiset – kuivauskustannukset kuriin. Saatavissa: <http://www.viljakas.fi/kuivuri/>. Hakupäivä 3.6.2016
4. Alpha 2 (XL). Proventor Oy. Saatavissa: <http://www.provender.fi/index.php?page=mitsualpha2>. Hakupäivä 4.6.2016.
5. Koneturvallisuuden standardit. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Saatavissa: <http://www.sfs.fi/files/63/Koneturvallisuusesite2015web.pdf>. Hakupäivä 2.7.2016.
6. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/42/EY, annettu 17 päivänä toukokuuta 2006, koneista ja direktiivin 95/16/EY muuttamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti 9.6.2006. Saatavissa: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006L0042:FI:PDF>. Hakupäivä 8.6.2016.
7. Savolainen, Jari – Vaitinen Reijo 2007. Sääntötekniikan perusteita. Helsinki: Suomen Robotiikkayhdistys Ry.